



TESIS - SM 142501

**APLIKASI JARINGAN SYARAF *FUZZY RADIAL BASIS FUNCTION*  
(*FRBF*) UNTUK PERAMALAN INDEKS PENCEMARAN KALI  
SURABAYA SEGMENT SEPANJANG - JAGIR**

NISA AYUNDA  
1213201007

Dosen Pembimbing:  
Prof. Dr. Mohammad Isa Irawan, MT.  
Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, Dipl.SE., MSc.

PROGRAM MAGISTER  
JURUSAN MATEMATIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2015





TESIS - SM 142501

**APPLICATION OF FUZZY RADIAL BASIS FUNCTION (FRBF)  
NEURAL NETWORK FOR FORECASTING SURABAYA RIVER  
POLLUTANT INDEX ON SEPANJANG - JAGIR SEGMENT**

NISA AYUNDA  
1213201007

Supervisors:

Prof. Dr. Mohammad Isa Irawan, MT.

Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, Dipl.SE., MSc.

MASTER'S DEGREE  
MATHEMATICS DEPARTMENT  
FACULTY OF MATHEMATICS AND NATURAL SCIENCES  
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY  
SURABAYA  
2015





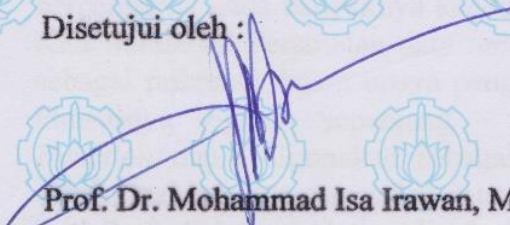
**APLIKASI JARINGAN SYARAF *FUZZY RADIAL BASIS FUNCTION*  
(FRBF) UNTUK PERAMALAN INDEKS PENCEMARAN  
KALI SURABAYA SEGMENT SEPANJANG - JAGIR**

Tesis ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar  
Magister Sains (M.Si.)  
di  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya


Oleh :  
NISA AYUNDA  
NRP. 1213 201 007

Tanggal Ujian : 21 Mei 2015  
Periode Wisuda : September 2015


Disetujui oleh :

  
Prof. Dr. Mohammad Isa Irawan, MT.  
NIP. 19631225 198903 1 001

(Pembimbing I)

  
Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, Dipl. SE, MSc.  
NIP. 19550128 198903 2 001

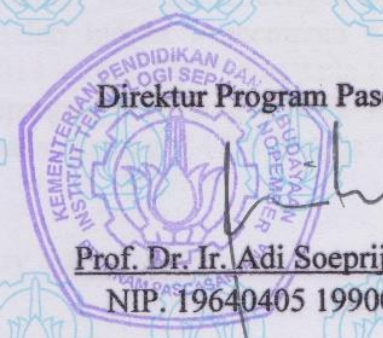
(Pembimbing II)

  
Prof. Dr. Erna Apriliani, M.Si.  
NIP. 19660414 199102 2 001

(Penguji)

  
Dr. Mahmud Yunus, M.Si  
NIP. 19620407 198703 1 005

(Penguji)

  
Direktur Program Pascasarjana

Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, M.T.  
NIP. 19640405 199002 1 001

# **APLIKASI JARINGAN SYARAF *FUZZY RADIAL BASIS FUNCTION (FRBF)* UNTUK PERAMALAN INDEKS PENCEMARAN KALI SURABAYA SEGMENT SEPANJANG – JAGIR**

Nama Mahasiswa : Nisa Ayunda  
NRP : 1213201007  
Pembimbing : Prof. Dr. Mohammad Isa Irawan, MT.  
Co-Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, Dipl.SE., MSc.

## **ABSTRAK**

Air Kali Surabaya yang dijadikan sebagai air baku air minum oleh PDAM Surabaya harus dipertahankan kualitasnya sesuai dengan Baku Mutu Air Minum. Adanya masukan dari Kali Tengah pada segmen Sepanjang – Jagir berpengaruh pada banyaknya kandungan pencemar terutama bahan organik pada Kali Surabaya. Peramalan data *time series* indeks pencemaran dapat digunakan sebagai referensi dalam upaya pengelolaan dan pemantauan pada Kali Surabaya khususnya segmen Sepanjang – Jagir. Jaringan syaraf tiruan *Radial Basis Function* dapat digunakan sebagai model untuk menganalisis kecenderungan sistem perairan dan peramalan data *time series* indeks pencemaran Kali Surabaya. Terbatasnya data yang tersedia dan karakteristik data yang berbeda berpengaruh pada hasil peramalan. Oleh karena itu teori *fuzzy* diterapkan pada jaringan syaraf *Fuzzy Radial Basis Function* untuk peramalan indeks pencemaran Kali Surabaya segmen Sepanjang – Jagir.

Penetapan indeks pencemaran Kali Surabaya segmen Sepanjang – Jagir dilakukan sesuai dengan metode indeks pencemaran. Sedangkan peramalan indeks pencemaran dilakukan dengan jaringan syaraf *Fuzzy Radial Basis Function*. Hasil peramalan yang didapat digunakan untuk peramalan status mendatang.

Indeks pencemaran Kali Surabaya segmen Sepanjang-Jagir pada Januari 2008 hingga Juni 2013 memiliki rentang nilai yaitu 0,6836 hingga 3,1366 (untuk titik pantau Sepanjang), 0,6579 dan 3,1961 (untuk titik pantau Gunungsari), dan 0,6714 dan 3,6174 (untuk titik pantau Jagir). Berdasarkan proses *testing* dengan *learning rate* pada rentang 0,01 dan 0,07 terlihat kecenderungan bahwa semakin kecil *learning rate* semakin besar nilai kesalahannya sedangkan untuk *learning rate* lebih dari 0,07 memiliki nilai kesalahan yang semakin besar sehingga *learning rate* sebesar 0,07 merupakan *learning rate* terbaik. Sedangkan periode hasil peramalan terbaik yaitu periode 1 tahun yang sesuai dengan tren *time series* data tersebut. Sedangkan hasil peramalan indeks pencemaran Kali Surabaya segmen Sepanjang – Jagir untuk Juli 2013 – Juni 2014 yaitu pada rentang 0,4964 hingga 1,5382 (untuk titik pantau Sepanjang), rentang 0,4252 hingga 0,9354 (untuk titik pantau Gunungsari), dan pada rentang 0,4778 hingga 2,0757 (untuk titik pantau Jagir).

**Kata Kunci:** indeks pencemaran, *fuzzy radial basis function*, jaringan syaraf tiruan, Kali Surabaya



# **APPLICATION OF FUZZY RADIAL BASIS FUNCTION (FRBF) NEURAL NETWORK FOR FORECASTING SURABAYA RIVER POLLUTANT INDEX ON SEPANJANG – JAGIR SEGMENT**

Student's Name : Nisa Ayunda  
NRP : 1213201007  
Supervisors : Prof. Dr. Mohammad Isa Irawan, MT.  
Co-Supervisors : Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, Dipl.SE., MSc.

## **ABSTRACT**

Surabaya River water that used as the raw water by PDAM Surabaya must be maintained the drinking water quality in accordance with the Drinking Water Quality Standard. The existence of inputs from Kali Tengah on segment Sepanjang – Jagir effect on the amount of organic matter content of pollutants in Surabaya River. Forecasting time series data of pollution index can be used as a reference in the management and monitoring efforts in Surabaya River particularly on segment Sepanjang – Jagir. Radial Basis Function neural networks can be used as a model system to analyze trends and forecasting water pollution index time series data of Surabaya River. The limited data and different data characteristics affect the forecasting results. Therefore, fuzzy theory is applied to the Fuzzy Radial Basis Function neural network for forecasting pollution index Surabaya segment Sepanjang – Jagir.

Determination of Surabaya River pollution index on segment Sepanjang – Jagir carried out in accordance with the pollution index method. While forecasting pollution index performed with Fuzzy Radial Basis Function neural networks. Forecasting results obtained are used to predict the status of water quality Surabaya River on segment Sepanjang – Jagir.

Surabaya River pollution index on segment Sepanjang – Jagir during January 2008 to June 2013 has a range of values is 0.6836 to 3.1366 (for Sepanjang monitoring points), 0.6579 and 3.1961 (for Gunungsari monitoring points), and 0.6714 and 3.6174 (for Jagir monitoring points). Based on testing process with learning rate 0,01 until 0,07 showed that smaller learning rate result bigger error and for learning rate more than 0,07 has bigger error thus learning rate 0,07 is the best learning rate for it. And the best output forecasting period was one year as like as the time series trend. Forecasting of the pollution index Surabaya River on segment Sepanjang – Jagir resulted for July 2013 - June 2014 are in the range of 0.6907 to 1.9325 (for Sepanjang monitoring points), the range of 0.4468 to 1.0890 (for Gunungsari monitoring points), and the the range of 0.4026 to 1.0999 (for Jagir monitoring points).

**Key Words:** pollutant index, fuzzy radial basis function, neural network, Surabaya River





## KATA PENGANTAR

Puji syukur Alhamdulillah penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, taufiq, dan hidayah-Nya, serta junjungan Beliau Rasulullah SAW atas suri teladan yang dibawanya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tesis yang berjudul **“Aplikasi Jaringan Syaraf *Fuzzy Radial Basis Function (FRBF)* untuk Peramalan Indeks Pencemaran Kali Surabaya Segmen Sepanjang – Jagir”** ini tepat pada waktunya. Tesis ini merupakan sebagian persyaratan kelulusan dalam memperoleh gelar magister di Program Studi Magister Matematika, Fakultas MIPA, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Penyusunan Tesis ini tidak lepas dari bimbingan, bantuan, dan dukungan moral maupun spiritual dari banyak pihak. Oleh sebab itu, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Prof. Dr. Mohammad Isa Irawan, MT. selaku dosen pembimbing I dan dosen wali yang telah meluangkan waktu untuk membimbing, memberikan masukan dan mendorong penulis dalam menempuh kuliah dan menyelesaikan Tesis ini.
2. Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, Dipl.SE., MSc. selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan arahan dan bimbingan dalam bidang Teknik Lingkungan maupun penulisan selama proses penyelesaian Tesis.
3. Prof. Dr. Erna Apriliani, M.Si. selaku Ketua Jurusan Matematika Institut Teknologi Sepuluh Nopember sekaligus dosen penguji.
4. Dr. Mahmud Yunus, M.Si selaku dosen penguji proposal dan hasil pada Tesis ini yang telah memberikan masukan dan arahan.
5. Dr. Subiono, M.Sc. selaku Koordinator Program Studi Magister Matematika Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
6. Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi yang telah memberikan beasiswa BPPDN kepada penulis selama perkuliahan magister S2 Matematika ITS.
7. Perum Jasa Tirta Malang, Perusahaan Daerah Air Minum Surya Sembada Surabaya, dan Badan Lingkungan Hidup Kota Surabaya yang telah bersedia memberikan data kualitas air Kali Surabaya untuk penelitian ini.

8. Seluruh dosen Matematika yang telah memberikan bekal dan ilmu pengetahuan serta staf administrasi Program Studi Magister Matematika atas segala bantuannya.
9. Abi Mudji Taher, Ibu Lilik Solihati, Mbak Nasikhah Imamah, Adek Izza Mufidah, Mas Bobby, dan seluruh keluarga besar tercinta yang sangat berarti buat penulis karena cinta mereka yang tak terukur dan tak pernah berhenti untuk penulis sehingga tiada kata yang mampu mengungkapkan rasa syukur dicintai dan mencintai mereka.
10. Lala, Mbak Rahma, Bima, Ivan, Mala, Ninis, Mbak Nisa M, Mbak Winda, dan sahabat-sahabat penulis lainnya atas semua bantuan, semangat, dan dukungannya selama proses penulisan Tesis ini.
11. Keluarga besar Pascasarjana Matematika ITS 2013, dan semua pihak yang telah membantu proses penulisan Tesis ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu. Terima kasih.

Semoga Allah SWT memberikan anugerah dan karunia-Nya kepada semua pihak yang telah membantu menyelesaikan Tesis ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan Tesis ini masih banyak kekurangan, sehingga kritik dan saran dari pembaca sangat penulis harapkan untuk perbaikan kedepannya. Kritik dan saran bisa dikirim melalui email penulis [ayundanisa15@gmail.com](mailto:ayundanisa15@gmail.com). Akhirnya semoga Tesis ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Surabaya, Mei 2015

Penulis

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>PERSETUJUAN.....</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>vii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>ix</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xv</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xvii</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>xix</b>
<b>DAFTAR SIMBOL .....</b>	<b>xxi</b>
 <b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	4
1.3. Tujuan Masalah .....	4
1.4. Batasan Penelitian.....	4
1.5. Manfaat Penelitian .....	5
 <b>BAB II KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI</b>	
2.1. Jaringan Syaraf Tiruan.....	7
2.2. Jaringan Syaraf <i>Radial Basis Function</i> .....	8
2.2.1. Arsitektur .....	9
2.2.2. Masalah Interpolasi.....	10
2.3. Jaringan Syaraf untuk Peramalan Data <i>Time Series</i> .....	11
2.4. Teori <i>Fuzzy</i> .....	13
2.4.1 Himpunan <i>Crisp</i> .....	13
2.4.2 Himpunan <i>Fuzzy</i> .....	14
2.4.3 Fungsi Keanggotaan .....	14
2.5. Jaringan Syaraf <i>Fuzzy Radial Basis Function</i> (FRBF).....	15
2.6. Kualitas Air Sungai.....	17



2.7. Metode Indeks Pencemaran .....	19
2.8. <i>Mean Squared Error</i> (MSE) .....	20
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b>	
3.1. Tahapan Penelitian .....	21
3.2. Diagram Proses Penelitian .....	25
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1 Penentuan Segmen Kali Surabaya .....	27
4.2 <i>Preprocessing</i> Data .....	30
4.2.1 Data Kualitas Air Kali Surabaya Titik Pantau Sepanjang.....	30
4.2.2 Data Kualitas Air Kali Surabaya Titik Pantau Gunungsari.....	33
4.2.3 Data Kualitas Air Kali Surabaya Titik Pantau Jagir .....	36
4.3 Penentuan Nilai Indeks Pencemaran (IP) Kali Surabaya Segmen Sepanjang – Jagir .....	38
4.3.1 Indeks Pencemaran Kali Surabaya Titik Pantau Sepanjang.....	42
4.3.2 Indeks Pencemaran Kali Surabaya Titik Pantau Gunungsari.....	43
4.3.3 Indeks Pencemaran Kali Surabaya Titik Pantau Jagir .....	45
4.4 Peramalan Nilai Indeks Pencemaran dengan Jaringan Syaraf <i>FRBF</i> .....	46
4.4.1 <i>Training</i> Aplikasi Jaringan Syaraf <i>FRBF</i> dalam Peramalan IP ..	47
4.4.2 <i>Testing</i> Aplikasi Jaringan Syaraf <i>FRBF</i> dalam Peramalan IP.....	58
4.4.3 Peramalan Indeks Pencemaran dengan Jaringan Syaraf <i>FRBF</i> ..	69
4.5 Penentuan Status Perairan Mendatang .....	77
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
5.1 Kesimpulan .....	79
5.2 Saran.....	80
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>81</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>85</b>
<b>BIOGRAFI PENULIS.....</b>	<b>141</b>

## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 4.1 Jarak Antar Stasiun Pemantauan .....	28
Tabel 4.2 <i>Descriptive Statistics</i> Kualitas Air TP. Sepanjang .....	32
Tabel 4.3 <i>Descriptive Statistics</i> Kualitas Air TP. Gunungsari .....	35
Tabel 4.4 <i>Descriptive Statistics</i> Kualitas Air TP. Jagir .....	37
Tabel 4.5 Perhitungan Nilai Indeks Pencemaran untuk Titik Pantau Sepanjang pada Bulan Januari 2008 .....	40
Tabel 4.6 <i>Source Code</i> Metode Indeks Pencemaran .....	41
Tabel 4.7 <i>Descriptive Statistics</i> Indeks Pencemaran Kali Surabaya TP. Sepanjang .....	43
Tabel 4.8 <i>Descriptive Statistics</i> Indeks Pencemaran Kali Surabaya TP. Gunungsari .....	44
Tabel 4.9 <i>Descriptive Statistics</i> Indeks Pencemaran Kali Surabaya TP. Jagir .....	45
Tabel 4.10 Pembagian Data Sesuai Periode Hasil Peramalan.....	47
Tabel 4.11 Skala Fuzzifikasi Nilai Indeks Pencemaran .....	49
Tabel 4.12 <i>Fuzzification Source Code</i> .....	50
Tabel 4.13 <i>Source Code</i> Penentuan Jarak .....	53
Tabel 4.14 <i>Source Code</i> Defuzzifikasi.....	54
Tabel 4.15 <i>Source Code</i> Penentuan <i>Centre Neuron</i> Terpilih dan Update <i>Hidden Layer</i> .....	55
Tabel 4.16 <i>Source Code</i> Update <i>Learning Rate</i> .....	56
Tabel 4.17 <i>Source Code</i> Perhitungan <i>Output</i> pada Neuron Hidden.....	57
Tabel 4.18 <i>Source Code</i> Perhitungan <i>Output</i> pada Neuron Output .....	58
Tabel 4.19 <i>Source Code</i> Testing Jaringan Syaraf FRBF dalam Peramalan Indeks Pencemaran.....	59
Tabel 4.20 Nilai MSE dan <i>Epoch</i> Hasil Testing FRBF untuk IP TP. Sepanjang .....	61
Tabel 4.21 Testing Aplikasi FRBF dalam Peramalan IP TP. Sepanjang .....	63

Tabel 4.22 Nilai MSE dan <i>Epoch</i> Hasil Testing FRBF untuk IP TP.	
Gunungsari.....	64
Tabel 4.23 Testing Aplikasi FRBF dalam Peramalan IP TP. Gunungsari .....	66
Tabel 4.24 Nilai MSE dan <i>Epoch</i> Hasil Testing FRBF untuk IP TP.	
Jagir.....	67
Tabel 4.25 Testing Aplikasi FRBF dalam Peramalan IP TP. Jagir .....	69
Tabel 4.26 <i>Source Code</i> Fuzzifikasi <i>Input</i> Peramalan <i>Out Sample</i> FRBF .....	69
Tabel 4.27 <i>Source Code Output</i> Peramalan Jaringan Syaraf <i>FRBF</i> .....	70
Tabel 4.28 Hasil Peramalan Indeks Pencemaran Kali Surabaya TP.	
Sepanjang dengan FRBF .....	71
Tabel 4.29 Hasil Peramalan Indeks Pencemaran Kali Surabaya TP.	
Gunungsari dengan FRBF .....	73
Tabel 4.30 Hasil Peramalan Indeks Pencemaran Kali Surabaya TP. Jagir	
dengan FRBF .....	75
Tabel 4.31 Hasil Peramalan Indeks Pencemaran Kali Surabaya Segmen	
Sepanjang – Jagir periode Juli 2013 hingga Juni 2014 .....	77

## DAFTAR GAMBAR

	<b>Halaman</b>
Gambar 2.1	Arsitektur Jaringan Syaraf Tiruan <i>RBF</i> ..... 9
Gambar 2.2	Arsitektur Jaringan <i>RBF</i> untuk Peramalan Data <i>Time Series</i> ... 13
Gambar 2.3	Contoh Representasi Kurva Segitiga <i>Fuzzy</i> ..... 15
Gambar 2.4	Arsitektur Jaringan Syaraf <i>Fuzzy Radial Basis Function</i> ..... 16
Gambar 3.1	Diagram Proses Penelitian..... 25
Gambar 4.1	Lokasi Kali Surabaya pada DPS Kali Brantas ..... 29
Gambar 4.2	Lokasi Tiga Titik Pantau pada Segmen Sepanjang – Jagir ..... 29
Gambar 4.3	Ilustrasi Pembagian Kali Surabaya Segmen Sepanjang–Jagir . 30
Gambar 4.4	Lokasi Titik Pantau Sepanjang ..... 31
Gambar 4.5	<i>Plot Time Series</i> Data Kualitas Air Kali Surabaya TP. Sepanjang ..... 32
Gambar 4.6	Lokasi Titik Pantau Gunungsari ..... 33
Gambar 4.7	<i>Plot Time Series</i> Data Kualitas Air Kali Surabaya TP. Gunungsari ..... 34
Gambar 4.8	Lokasi Titik Pantau Jagir ..... 36
Gambar 4.9	<i>Plot Time Series</i> Data Kualitas Air Kali Surabaya TP. Jagir ... 37
Gambar 4.10	Indeks Pencemaran Kali Surabaya TP. Sepanjang ..... 43
Gambar 4.11	Indeks Pencemaran Kali Surabaya TP. Gunungsari ..... 44
Gambar 4.12	Indeks Pencemaran Kali Surabaya TP. Jagir ..... 45
Gambar 4.13	Representasi kurva segitiga nilai IP ..... 48
Gambar 4.14	<i>Output</i> Testing Aplikasi FRBF dalam Peramalan IP TP. Sepanjang ..... 59
Gambar 4.15	<i>Output</i> Testing Aplikasi FRBF dalam Peramalan IP TP. Gunungsari ..... 62
Gambar 4.16	<i>Output</i> Testing Aplikasi FRBF dalam Peramalan IP TP. Jagir ..... 68
Gambar 4.17	Grafik Hasil Peramalan Indeks Pencemaran TP. Sepanjang Jul’13 – Jun’14 dengan <i>FRBF</i> ..... 69

Gambar 4.18	Grafik Hasil Peramalan Indeks Pencemaran TP. Gunungsari	
	Jul'13 – Jun'14 dengan <i>FRBF</i> .....	74
Gambar 4.19	Grafik Hasil Peramalan Indeks Pencemaran TP. Jagir	
	Jul'13 – Jun'14 dengan <i>FRBF</i> .....	76

## DAFTAR SIMBOL

$x_i$	Neuron Input ke-i
$c_i$	Neuron Center ke-i
$\Sigma$	Sigma
$\  \cdot \ $	Norm atau Jarak Euclid
$\phi(\cdot)$	Fungsi Aktivasi
$y_i$	Neuron Output ke-i
$w_i$	Parameter Bobot ke-i
$f(x)$	Fungsi terhadap $x$
$\varphi(\ x - c_i\ )$	Radial Basis Function
$\sigma$	Standar Deviasi
$\mu_A(x)$	Derajat Keanggotaan $x$ pada himpunan $\tilde{A}$
$\tilde{A}$	Himpunan <i>Fuzzy</i> $\tilde{A}$
$(l, m, u)$	<i>Lower Bound, Medium, dan Upper Bound</i> pada Himpunan <i>Fuzzy</i>
$C_i$	Konsentrasi Parameter Kualitas Air Hasil Pengukuran
$L_{ij}$	Konsentrasi Parameter Kualitas Air dalam Baku Mutu Air
$IP_j$	Indeks Pencemaran pada series ke- $j$
$FIP_j$	Himpunan <i>Fuzzy</i> $IP_j$
$FIP_{j,1}$	<i>Lower Bound</i> pada Himpunan <i>Fuzzy</i> untuk $FIP_j$
$FIP_{j,2}$	<i>Medium</i> pada Himpunan <i>Fuzzy</i> untuk $FIP_j$
$FIP_{j,3}$	<i>Upper Bound</i> pada Himpunan <i>Fuzzy</i> untuk $FIP_j$
$\lfloor IP_j \rfloor$	Bilangan Bulat Terbesar yang Kurang dari $IP_j$
$\lceil IP_j \rceil$	Bilangan Bulat Terkecil yang Lebih Besar dari $IP_j$
$\tilde{X}$	Matriks berisi Neuron – Neuron Input yang telah difuzzifikasi
$\tilde{C}$	Matriks berisi Neuron – Neuron Center yang telah difuzzifikasi
$\tilde{d}[\alpha](t)$	Jarak antara Neuron Input dan Neuron Center pada Hidden Layer
$\eta$	Learning Rate
$o_k$	Nilai Output pada Neuron Output
$E_k$	Error antara Indeks Pencemaran Sebenarnya dan Hasil Peramalan



# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Salah satu sumber kehidupan yang terpenting di dunia adalah air. Ketersediaan air yang cukup secara kuantitas, kualitas, dan kontinuitas sangat penting untuk kelangsungan hidup manusia. Oleh karena itu, pengelolaan kualitas air pada sungai bagi suatu wilayah sekitarnya merupakan hal yang penting, karena sungai memiliki peran penting sebagai sumber air bagi kehidupan serta kegiatan usaha masyarakat.

Kali Brantas yang mengalir dari sumbernya hingga menuju Selat Madura merupakan salah satu sumber air terbesar di Jawa Timur. Aliran Kali Brantas di bagian hilir terpecah menjadi dua sungai membentuk suatu delta yang dikenal sebagai Delta Brantas. Dua sungai tersebut adalah Kali Porong di sebelah selatan dan Kali Surabaya di sebelah utara. Kali Surabaya merupakan sumber air yang cukup penting bagi Kota Surabaya dan sekitarnya. Air dari Kali Surabaya digunakan untuk berbagai keperluan seperti irigasi, air industri, penggelontoran, dan juga sebagai air baku air minum oleh beberapa PDAM di Jawa Timur.

Sesuai dengan peruntukannya, menurut SK Gubernur Kepala Daerah Jawa Timur Nomor 413 Tahun 1997, Kali Surabaya yang merupakan salah satu sumber air minum diharapkan memenuhi standar mutu kualitas air baku kelas B. Masalah utama yang sering timbul adalah rendahnya kualitas air Kali Surabaya seperti tingkat COD yang tinggi mencapai rata-rata 20 mg/l melebihi ambang batas kelas B (10 mg/l). Rendahnya kualitas air Kali Surabaya tersebut diperkirakan akibat banyaknya bahan pencemar yang dibuang di Kali Surabaya. Bahan pencemar tersebut berasal dari aktivitas manusia di sekitar Kali Surabaya yang memberikan sumbangsih sekitar 60% dari pencemaran air Kali Surabaya dan juga beberapa industri yang memfungsikan Kali Surabaya sebagai tempat pembuangan limbah.

Perum Jasa Tirta sebagai pengelola air baku Kali Surabaya juga merasa kesulitan dalam mempertahankan kualitas air Kali Surabaya yang seharusnya tidak dapat digunakan sebagai air baku air minum. Namun, dikarenakan belum terdapat



sumber air baku lain di Surabaya maka PDAM Surabaya tetap menggunakan air Kali Surabaya sebagai air baku air minum (Purnomo, 2011).

Perlu dilakukan upaya pengelolaan dan pemantauan air Kali Surabaya khususnya pada segmen yang terdapat titik pengambilan air baku PDAM Surabaya, seperti segmen Gunungsari – Jagir yang terdapat IPAM Ngagel. Selain itu, dalam Karnaningroem (2010) juga disebutkan bahwa dari segmen Cangkir – Sepanjang, segmen yang masih memenuhi persyaratan pada air baku air minum hanya pada segmen Cangkir – Bambe. Salah satu penyebab terjadinya keadaan tersebut yaitu terlalu banyaknya kandungan pencemar terutama bahan organik di lokasi sebelum segmen Sepanjang, salah satu diantaranya adalah adanya masukan dari Kali Tengah. Berbagai upaya telah dilakukan oleh Pemerintah untuk menjaga dan memperbaiki kualitas, diantaranya adalah telah dilakukannya upaya pengelolaan air sungai Kali Tengah sebelum dialirkan ke Kali Surabaya (Hadi, 1995 dalam Karnaningroem, 2007), monitoring kualitas air Kali Surabaya baik oleh Dinas Pengairan Jatim ataupun Perum Jasa Tirta secara kontinu, dan berbagai studi mengenai Kali Surabaya, namun hasilnya belum dioptimalkan.

Dalam upaya mengontrol dan memantau kualitas air di perairan Kota Surabaya, khususnya daerah sekitar Kali Surabaya segmen Sepanjang – Jagir, perlu adanya sistem pengelolaan dan pemantauan terhadap kualitas Kali Surabaya segmen Sepanjang – Jagir. Penetapan indeks pencemaran merupakan pelaksanaan pengendalian pencemaran air yang menggunakan pendekatan indeks kualitas air (*water quality-based control index*). Pendekatan ini bertujuan untuk mengendalikan zat pencemar yang berasal dari berbagai sumber pencemar yang masuk ke dalam sumber air dengan mempertimbangkan kondisi intrinsik sumber air dan baku mutu air yang ditetapkan (Peraturan Menteri LH Nomor 1 Tahun 2010). Penelitian Masduqi dan Apriliani (2008) melakukan estimasi kualitas air Kali Surabaya pada suatu waktu, hanya saja bagaimana perilaku sistem belum bisa dianalisis sehingga sulit untuk digunakan apabila terjadi perubahan cepat pada kondisi sungai terjadi.

Pemodelan jaringan syaraf tiruan merupakan kajian rekayasa sistem yang dapat digunakan untuk menganalisis mekanisme, pola, perilaku dan kecenderungan sistem (Arifin Z. dan Irawan M.I., 2009). Rekayasa sistem ini berdasarkan analisis terhadap struktur dan perilaku sistem sungai yang rumit, berubah cepat, dan

mengandung ketidakpastian dengan suatu bentuk desain sistem dan pemodelan. Pendekatan model jaringan syaraf tiruan didasari oleh prinsip pengenalan pola data komponen yang terlibat dalam sistem yang dikaji.

Jaringan syaraf tiruan telah digunakan secara luas baik dalam bidang teknologi maupun aplikasi keuangan. Jaringan syaraf tiruan juga dikenal sebagai salah satu metode pendekatan yang digunakan pada masalah peramalan. Peramalan dengan jaringan syaraf tiruan melibatkan beberapa proses yaitu *clustering* untuk karakteristik data *time series*, klasifikasi hubungan antara data *time series* dengan kriteria deskripsinya dan klasifikasi prediksi pada suatu data *time series* (Thomassey dan Happiette, 2007). Kolarik dan Rudorfer (1994) membuktikan kemampuan peramalan jaringan syaraf *Backpropagation* lebih baik dibandingkan dengan model yang dikenal luas dalam statistika seperti ARIMA. Model jaringan syaraf *Backpropagation* ini disempurnakan oleh Ranaweera, dkk. (1995) yang menggunakan model jaringan syaraf *Radial Basis Function* untuk meramalkan beban puncak pada sistem pembangkit listrik.

Model jaringan syaraf *Radial Basis Function* memiliki sifat *supervised learning* yang dapat digunakan sebagai metode peramalan karena data yang harus dilatihkan adalah berupa pasangan data *input* dan target. Dengan pertimbangan kemungkinan terjadinya kesalahan paralaks dalam pengukuran serta terbatasnya data dan karakteristik data yang berbeda, aplikasi teori *fuzzy* digunakan sebagai *unsupervised learning* dalam model. Model yang terbentuk adalah model jaringan syaraf *Fuzzy Radial Basis Function* yang bersifat *unsupervised-supervised learning*.

Pada penelitian ini, model jaringan syaraf *Fuzzy Radial Basis Function* diharapkan dapat mengembangkan kualitas hasil peramalan dari terbatasnya data dan karakteristik data yang berbeda antar parameter kualitas air. Hasil peramalan nilai indeks pencemaran Kali Surabaya dengan menggunakan model jaringan syaraf *Fuzzy Radial Basis Function* digunakan untuk meramalkan nilai indeks pencemaran Kali Surabaya satu tahun berikutnya. Hasil peramalan indeks pencemaran Kali Surabaya dapat digunakan sebagai acuan dalam upaya pengelolaan dan pemantauan kualitas air Kali Surabaya.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana penetapan nilai indeks pencemaran Kali Surabaya segmen Sepanjang-Jagir berdasarkan nilai parameter kualitas air pada Januari 2008 hingga Juni 2013.
2. Bagaimana model Jaringan Syaraf *Fuzzy Radial Basis Function* dalam identifikasi dan peramalan nilai indeks pencemaran Kali Surabaya segmen Sepanjang-Jagir.
3. Bagaimana peramalan kondisi pencemaran Kali Surabaya segmen Sepanjang – Jagir pada Juli 2013 hingga Juni 2014 berdasarkan hasil peramalan nilai indeks pencemaran Kali Surabaya segmen Sepanjang-Jagir.

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Menetapkan nilai indeks pencemaran Kali Surabaya segmen Sepanjang-Jagir berdasarkan nilai parameter kualitas air pada Januari 2008 hingga Juni 2013.
2. Memodelkan dan menggunakan jaringan syaraf *Fuzzy Radial Basis Function* untuk identifikasi dan peramalan nilai indeks pencemaran Kali Surabaya segmen Sepanjang-Jagir.
3. Menganalisa dan menetapkan peramalan kondisi pencemaran Kali Surabaya segmen Sepanjang-Jagir pada Juli 2013 hingga Juni 2014 berdasarkan hasil peramalan nilai indeks pencemaran Kali Surabaya segmen Sepanjang-Jagir.

## **1.4 Batasan Masalah**

Ruang lingkup penelitian “Model Jaringan Syaraf *Fuzzy Radial Basis Function* untuk Peramalan Nilai Indeks Pencemaran pada Kali Surabaya” adalah sebagai berikut.

1. Parameter kualitas air yang digunakan adalah parameter utama dalam penentuan status kualitas air dan daya tampung beban pencemaran, antara lain DO (*Dissolved Oxygen*), BOD (*Biological Oxygen Demand*), dan COD (*Chemical Oxygen Demand*).
2. Baku Mutu Sungai yang digunakan sebagai acuan dalam penelitian ini berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001.
3. Pengambilan data dilakukan secara serentak untuk setiap lokasi pengambilan sampel oleh instansi terkait.
4. Lokasi pengambilan sampel yang digunakan sebagai penggambaran kondisi Kali Surabaya segmen Sepanjang – Jagir dalam penelitian ini adalah lokasi pengambilan sampel di Sepanjang, Gunungsari, dan Jagir.

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Penelitian ini diharapkan dapat membawa manfaat dalam perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi. Salah satu manfaat tersebut adalah sebagai perkembangan penerapan salah satu model matematika yaitu model jaringan syaraf *Fuzzy Radial Basis Function* dalam analisa permasalahan lingkungan, khususnya kualitas air Kali Surabaya. Selain itu, hasil peramalan indeks pencemaran dapat digunakan sebagai referensi atau acuan dalam upaya pengelolaan lingkungan ataupun dalam perumusan strategi penanganan dan pengendalian pencemaran lingkungan di Kali Surabaya.



## **BAB II**

### **KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI**

Pemodelan parameter air merupakan permasalahan yang penting dan kompleks (proses *nonlinear*), beberapa teknik kecerdasan buatan yang berbeda-beda seperti yang telah dilakukan oleh Govindaraju (2000a,b) dan Maier dan Dandy (2000) telah sukses diterapkan dalam pemodelan daerah sumber air. Selain itu, Hagan dan Menhaj (1994) juga telah sukses menggunakan teknik-teknik tersebut dalam estimasi dan peramalan. Pada penelitian ini juga akan digunakan salah satu teknik kecerdasan buatan yaitu model jaringan syaraf tiruan *Fuzzy Radial Basis Function* untuk mengestimasi daya tampung Kali Surabaya. Pada bab ini akan dibahas mengenai tinjauan pustaka dan dasar teori mengenai jaringan syaraf tiruan, jaringan syaraf *Radial Basis Function*, jaringan syaraf tiruan untuk prediksi data *time series*, teori *fuzzy*, jaringan syaraf *Fuzzy Radial Basis Function*, kualitas air sungai dan metode indeks pencemaran.

#### **2.1 Jaringan Syaraf Tiruan**

Guclu dan Dursun (2008) menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan untuk mengimplementasikan prediksi konsentrasi *effluent COD* pada *Ankara Central Wastewater Treatment Plant (ACWTP)* di Turkey. Fausett (1994) menyatakan bahwa Jaringan Syaraf Tiruan (*Artificial Neural Network*) adalah pemrosesan sistem informasi pada karakteristik tertentu dalam keadaan yang berhubungan dengan jaringan syaraf biologi. Jaringan syaraf tiruan dibangun berdasarkan generalisasi dari model matematika pada manusia atau syaraf biologi, didasarkan pada asumsi berikut.

1. Pemrosesan informasi terjadi pada banyak elemen yang disebut neuron.
2. Sinyal dikirimkan antar neuron melalui jaringan penghubung.
3. Masing-masing jaringan penghubung mempunyai bobot yang akan memperkuat ataupun memperlemah sinyal.
4. Masing-masing neuron mempergunakan fungsi aktivasi (biasanya *nonlinear*) ke jaringan *inputnya* untuk menentukan sinyal *output*.

Jaringan syaraf dikarakteristikan oleh (1) polanya terkoneksi diantara neuron (disebut arsitektur), (2) metode untuk menentukan bobot dari koneksi (disebut training atau learning, algoritma), dan (3) fungsi aktivasi. Jaringan syaraf terdiri dari banyak sekali elemen pemroses yang disebut dengan neuron atau unit. Masing-masing terhubung dengan neuron yang lain oleh alat komunikasi jaringan secara langsung, masing-masing menghubungkan dengan bobot. Bobot menggambarkan informasi yang digunakan oleh jaringan untuk menyelesaikan masalah. Jaringan syaraf tiruan dapat diaplikasikan pada bermacam-macam permasalahan seperti penyimpanan dan pemanggilan ulang data atau pola, pengenalan dan pengklasifikasian pola, menekan *noise* dalam saluran telepon maupun untuk peramalan.

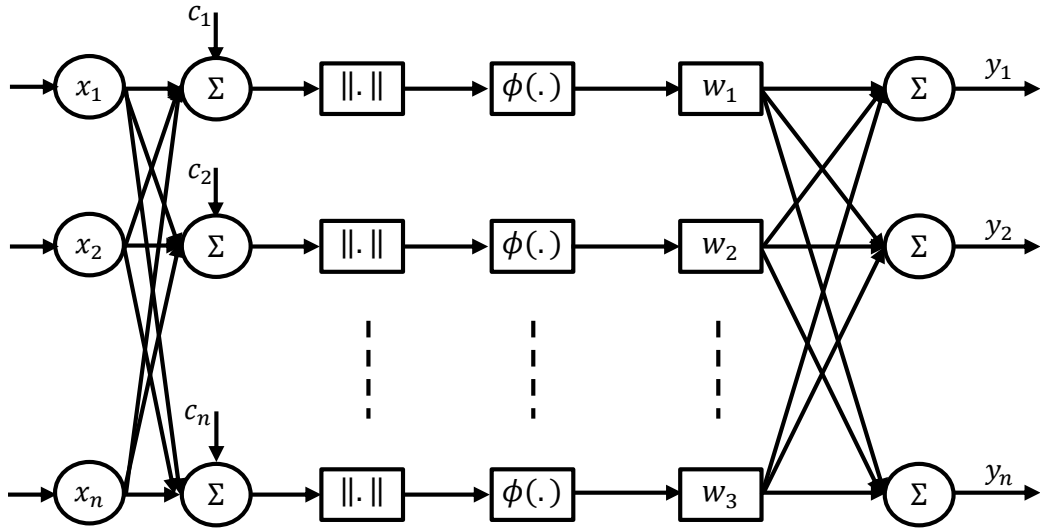
Jaringan syaraf memiliki kemampuan menyimpan pengetahuan atau memory dan membuatnya menjadi dapat digunakan dalam proses berikutnya. Jaringan syaraf menyerupai sistem kerja otak dengan ketentuan bahwa pengetahuan atau memory yang diperoleh jaringan dari lingkungannya melalui suatu proses yang disebut *training* dan kekuatan hubungan antar *neuron*, yaitu bobot, digunakan untuk menyimpan memori tersebut.

## **2.2 Jaringan Syaraf *Radial Basis Function***

Jaringan syaraf *Radial Basis Function* pertama diperkenalkan dalam literatur-literatur tentang jaringan syaraf tiruan oleh Broomhead and Lowe (1998). Qiao dkk (2011) juga menawarkan sebuah algoritma perbaikan dari desain jaringan syaraf *Radial Basis Function* untuk memodelkan parameter *COD* dalam proses pengolahan limbah. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa pola parameter *COD* dalam pembuangan pada pengolahan limbah dapat diprediksi dengan akurasi yang dapat diterima dengan menggunakan data *SS*, *pH*, minyak dan  $NH_3 - N$  sebagai data masukan pada modelnya. Oleh karena itu, pada penelitian ini dengan menggunakan model jaringan syaraf *Radial Basis Function* diharapkan dapat menghasilkan hasil estimasi yang memiliki akurasi yang dapat diterima.

### 2.2.1 Arsitektur

Jaringan syaraf *Radial Basis Function* adalah model jaringan syaraf dengan satu *hidden layer*, dimana fungsi aktivasinya adalah fungsi basis dan fungsi *linear* pada lapisan *output* (Gupta, 2003). Model ini merupakan pemetaan fungsi *nonlinear* multidimensi berdasar pada jarak antar vektor *input* dan vektor *center*. Jaringan syaraf *Radial Basis Function* memiliki *input* berdimensi  $n$ ,  $x \in \mathbb{R}^n$  dan *output* berdimensi  $n$ ,  $y \in \mathbb{R}^n$ . Arsitektur *Radial Basis Function* dapat direpresentasikan seperti pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Arsitektur Jaringan Syaraf Tiruan *RBF*

Secara matematis, *output*  $y$  dapat dinyatakan

$$y \triangleq f(x) = \sum_{i=1}^n w_i \varphi_i(\|x - c_i\|) \quad (2.1)$$

dengan  $\varphi_i(\|x - c_i\|)$  adalah fungsi basis dari  $x$ ,  $w_i$  merupakan parameter bobot dan  $c_i \in \mathbb{R}^n$  adalah *center* dari *Radial Basis Function*. Untuk penyederhanaan, selalu dipilih jenis *Radial Basis Function* yang sama untuk semua jumlahan bobot yang diberikan sehingga persamaan (2.1) dapat dituliskan menjadi:

$$y \triangleq f(x) = \sum_{i=1}^n w_i \varphi(\|x - c_i\|). \quad (2.2)$$



Pada persamaan (2.2),  $\varphi(\cdot)$  adalah *Radial Basis Function*. *Radial Basis Function* yang sering digunakan adalah fungsi Gaussian karena mempunyai sifat lokal, yaitu bila *input* dekat dengan *center*, maka fungsi akan menghasilkan nilai satu, sedangkan bila *input* jauh dari *center*, maka fungsi akan memberikan nilai nol.

### 2.2.2 Masalah Interpolasi

Jaringan syaraf *Radial Basis Function* didesain untuk membentuk pemetaan *nonlinear* dari variabel *input* ke unit *hidden layer* dan pemetaan *linear* dari *hidden layer* ke *output layer*. Sehingga dilakukan pemetaan *input* dari ruang berdimensi  $p$  ke *output* ruang berdimensi satu. Berdasarkan teori interpolasi multivariat, jika diberikan  $n$  buah titik berbeda  $\{x_i \in \mathbb{R}^p | i = 1, 2, \dots, n\}$  yang berhubungan dengan  $n$  buah bilangan real  $\{y_i \in \mathbb{R}^1 | i = 1, 2, \dots, n\}$ . Akan ditentukan fungsi  $f : \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}^1$  sedemikian hingga memenuhi

$$f(x_i) = y_i, \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (2.3)$$

Pada pemodelan jaringan syaraf *Radial Basis Function* dilakukan dengan memilih suatu fungsi  $f(x)$  sehingga (2.3) dipenuhi. Interpolasi *input-output* dengan melihat arsitektur model Jaringan Syaraf *Radial Basis Function* (*RBF*), maka dapat dinyatakan dengan

$$y = f(x) = \sum_{i=1}^n w_i \varphi(\|x - c_i\|),$$

atau dapat diinterpretasikan menjadi

$$\begin{bmatrix} \varphi_{11} & \varphi_{12} & \cdots & \varphi_{1n} \\ \varphi_{21} & \varphi_{22} & \cdots & \varphi_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \varphi_{n1} & \varphi_{n2} & \cdots & \varphi_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix}, \quad (2.4)$$

dengan  $\varphi_{ij} \triangleq \varphi(\|x - c_i\|)$ .

Vektor  $w$  dan  $y$  yang berukuran  $n \times 1$  masing-masing adalah vektor bobot dan vektor respon atau *output* dengan  $n$  adalah ukuran sampel *training*. Misalkan  $\Phi$  menotasikan interpolasi, suatu matriks ukuran  $n \times n$  dengan elemen  $\varphi$  adalah  $\Phi = \{\varphi_{ij} | (i, j) = 1, 2, \dots, n\}$ .

Maka persamaan (2.4) dapat ditulis kembali menjadi

$$\Phi w = y,$$

dengan mengasumsikan bahwa  $\Phi$  *non-singular* dan dengan demikian invers matriks  $\Phi^{-1}$  ada, maka penyelesaian persamaan tersebut untuk bobot  $w$  adalah

$$w = \Phi^{-1}y,$$

Untuk memastikan bahwa  $\Phi$  adalah *non-singular* digunakan Teorema Michelli's: "Misalkan  $\{x_i\}_{i=1}^n$  adalah suatu himpunan titik di  $\mathbb{R}^p$ , maka matriks interpolasi  $n \times n$  yang elemen ke- $ij$  adalah  $\varphi_{ij} = \varphi(\|x - c_i\|)$ , adalah *non-singular*". Salah satu *Radial Basis Function* adalah Fungsi Gaussian:

$$\varphi_{ij} = \exp\left(-\frac{(\|x_i - c_j\|)^2}{2\sigma^2}\right). \quad (2.5)$$

Fungsi Gaussian pada persamaan (2.5) adalah fungsi basis yang digunakan dalam penelitian ini dengan  $\|x_i - \mu_j\|$  adalah jarak antara *input* dengan *center* dan  $\sigma$  adalah standar deviasi dari *input*.

### 2.3 Jaringan Syaraf untuk Peramalan Data *Time Series*

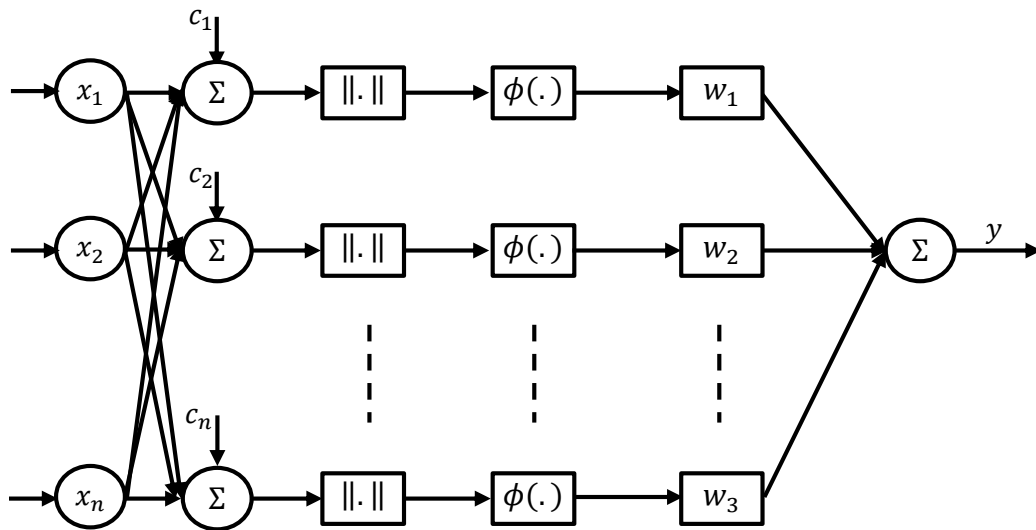
Jaringan syaraf banyak diterapkan pada data *time series* sebagai fungsi terhadap waktu  $t$ . Tujuannya adalah untuk meramalkan nilai pada waktu yang akan datang (Bishop,1995). Dimisalkan terdapat variabel tunggal  $x_t$ , salah satu pendekatannya adalah untuk membangkitkan suatu barisan nilai diskrit  $x_{t-1}, x_t, x_{t+1}$  dan seterusnya. Diambil  $d$  sedemikian hingga terdapat  $x_{t-d+1}, x_{t-d}, \dots, x_{t-1}, x_t$  sebagai inputan pada jaringan dari nilai  $x_{t+1}$  sebagai target untuk *output* jaringan.

Dalam Riggs (1987) dinyatakan bahwa salah satu cara peramalan adalah dengan metode *time series* yang menggunakan data histori (data waktu lampau), misalnya data nilai parameter kualitas air hari ini, untuk membuat ramalan nilai parameter kualitas air di waktu mendatang. Tujuan dari metode ini adalah untuk mengidentifikasi pola data histori dan kemudian mengekstrapolasi pola ini ke masa datang. Dalam metode pengidentifikasian pola data masa lalu dilakukan dengan membuat jaringan syaraf buatan tersebut dilatih untuk bisa menirukan pola data. Cara kerja metode ini mirip dengan metode pencocokan kurva (*curve fitting*). *Curve fitting* menyediakan cara untuk mengekstrapolasi guna meramalkan untuk beberapa periode mendatang (Riggs,1987). Metode dengan jaringan syaraf ini dilatih dengan

seperangkat data untuk bisa mengenal dan mengidentifikasi pola data atau kurva. Proses pelatihan ini sering disebut tahap belajar (*learning process*). Pemilihan algoritma dan parameter yang bersesuaian dan penentuan berapa banyak perangkat data yang dibutuhkan dalam *learning process* ini sangat penting untuk menentukan akurasi dari peramalan yang dihasilkan.

Pada saat awal jaringan syaraf diset secara acak. Kemudian sekelompok data dimasukkan ke jaringan syaraf untuk di-*training*. Ketika data dimasukkan, jaringan syaraf akan menjalankan proses *training* dengan mengubah parameter-parameternya sehingga semakin mendekati atau semakin sesuai dengan pola data masukan tersebut. Ketika semua data *training* sudah dimasukkan, jaringan syaraf dianggap sudah dapat mengenal dan mengidentifikasi pola data tersebut sehingga telah siap digunakan untuk peramalan atau estimasi. Dengan demikian hasil estimasi akan sesuai dengan pola data yang telah diidentifikasi oleh jaringan syaraf tersebut.

Pada prinsipnya ada dua cara dalam *training* jaringan syaraf yaitu dengan *supervised* atau *unsupervised learning*. Pada *unsupervised learning*, jaringan syaraf hanya diberi data masukan saja tanpa *output*. Ketika data yang dimasukkan bertambah, jaringan syaraf akan mengkategorikan atau mengelompokkan data masukan tersebut. Pada *supervised learning*, jaringan syaraf diberi sepasang data *training* yang terdiri dari data masukan dan target. Jadi ketika data yang dimasukkan bertambah jaringan syaraf akan mengubah karakteristik internalnya agar sebisa mungkin menghasilkan keluaran seperti targetnya. Maka dengan demikian cara *learning* yang bisa dipakai untuk peramalan adalah yang *supervised learning* karena data yang harus dilatihkan adalah berupa pasangan data dan *input*.



Gambar 2.2 Arsitektur Jaringan RBF untuk Peramalan Data *Time Series*

## 2.4 Teori Fuzzy

Teknik logika teori *fuzzy* telah sukses diaplikasikan oleh Lee dkk (1997) dalam pemodelan parameter kualitas air. Pada penelitian ini teknik logika teori *fuzzy* diaplikasikan dengan jaringan syaraf *Radial Basis Function* dalam pemodelannya. Oleh karena itu, pada sub-bab ini akan dijelaskan dasar teori mengenai teori *fuzzy*.

*Fuzzy* adalah kata sifat yang menggambarkan sesuatu yang tidak jelas, meragukan, tidak tepat, kabur dan lain sebagainya. Konsep himpunan *fuzzy* menawarkan suatu metode yang dapat menangani ketidakpastian di mana terdapat batas yang tidak jelas antara satu kondisi dengan kondisi yang lain. Menurut Kusumadewi (2006), himpunan *fuzzy* memiliki kemampuan untuk mengekspresikan secara bertahap peralihan dari keanggotaan menjadi bukan keanggotaan pada suatu himpunan dan sebaliknya.

### 2.4.1 Himpunan Crisp

Pada dasarnya, teori himpunan *fuzzy* merupakan perluasan dari himpunan *crisp*. Pada teori himpunan *crisp*, keberadaan suatu elemen pada suatu himpunan,  $A$ , hanya akan memiliki dua kemungkinan keanggotaan, yaitu menjadi anggota  $A$  atau tidak menjadi anggota  $A$  (Chak, 1998). Suatu nilai yang menunjukkan seberapa

besar tingkat keanggotaan suatu elemen ( $x$ ) dalam suatu himpunan ( $A$ ), sering dikenal dengan dengan nama nilai keanggotaan atau derajat keanggotaan, dinotasikan dengan  $\mu_A(x)$ .

Menurut Kusumadewi (2006), pada himpunan *crisp*, derajat keanggotaan himpunan *crisp*  $A$  dari  $X$  dan  $x \in X$  dinyatakan dengan fungsi karakteristiknya sebagai berikut:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1 & \text{jika } x \in A \\ 0 & \text{jika } x \notin A \end{cases}$$

dengan notasi matematis

$$\mu_A: x \rightarrow \{0, 1\}.$$

#### 2.4.2 Himpunan Fuzzy

Teori himpunan *fuzzy* diperkenalkan oleh Lotfi A. Zadeh pada tahun 1965. Zadeh memberikan definisi tentang himpunan *fuzzy*,  $\tilde{A}$ , sebagai berikut:

**Definisi 2.1:** Jika  $X$  adalah koleksi dari obyek-obyek yang dinotasikan secara generik oleh  $x$ , maka suatu himpunan *fuzzy*  $\tilde{A}$ , dalam  $X$  adalah suatu himpunan pasangan berurutan:

$$\tilde{A} = \{(x, \mu_A(x)) | x \in X\}$$

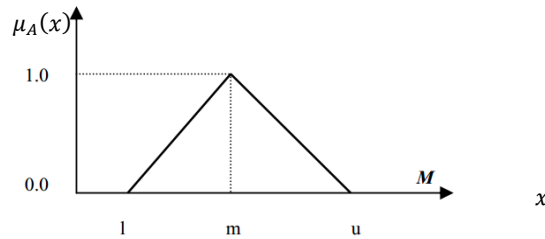
dengan  $\mu_A(x)$  adalah derajat keanggotaan  $x$  yang memetakan  $X$  ke ruang keanggotaan  $M$  yang terletak pada rentang  $[0,1]$ .

#### 2.4.3 Fungsi Keanggotaan

Fungsi keanggotaan (*membership function*) adalah suatu kurva yang menunjukkan pemetaan data masukan ke dalam nilai keanggotaannya. Salah satu cara yang dapat digunakan untuk mendapatkan nilai keanggotaan adalah dengan melalui pendekatan fungsi. Ada beberapa fungsi yang dapat digunakan, diantaranya adalah fungsi keanggotaan representasi linear, representasi kurva segitiga, representasi kurva trapesium, representasi kurva bentuk bahu, representasi kurva-S, dan representasi kurva bentuk lonceng. Pada penelitian ini, representasi fungsi yang digunakan adalah representasi fungsi segitiga atau *Triangular Fuzzy Number (TFN)*.

*TFN* merupakan bentuk sederhana bilangan *fuzzy* yang sering digunakan dalam literatur dan yang memfasilitasi perhitungan aritmatika *fuzzy*. Representasi kurva segitiga merupakan bentuk bilangan *fuzzy* yang sederhana karena mampu mencakup persekitaran suatu bilangan klasik dengan memperhatikan *lower bound* dan *upper bound* dari bilangan tersebut. Hal ini pula dimungkinkan untuk menggunakan hukum operasi mengikuti prinsip ekstensi Zadeh melalui penyederhanaan ini yang membuat jauh lebih mudah dalam perhitungan (Chang, 1996). Selain itu representasi kurva segitiga juga berguna dalam mempertimbangkan representasi dan pengolahan informasi dalam kondisi *fuzzy* (Liang dan Wang, 1993).

Menurut Kusumadewi (2006), representasi kurva segitiga pada dasarnya merupakan gabungan antara 2 garis linear seperti terlihat pada Gambar 2.3. Sedangkan menurut Veerabathiran, dkk. (2012), *TFN* dinotasikan oleh  $(l, m, u)$  dimana  $l \leq m \leq u$ ,  $l$  dan  $u$  sebagai nilai *lower* dan *upper* dari  $m$  secara berurutan dan fungsi keanggotaannya dapat didefinisikan oleh Persamaan (2.6).



Gambar 2.3 Contoh representasi kurva segitiga *fuzzy* (Kusumadewi, 2006)

Fungsi keanggotaan:

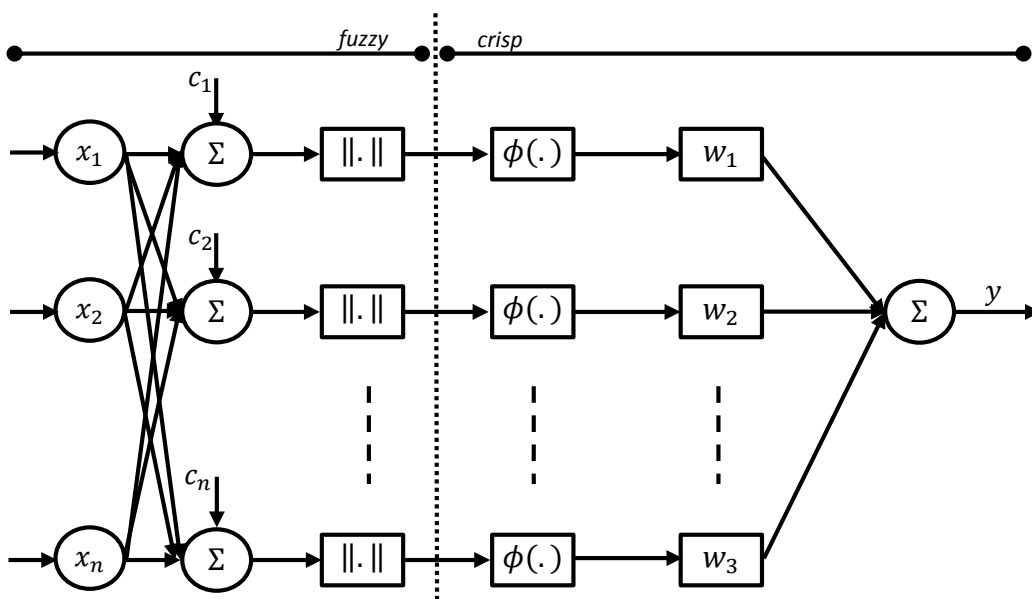
$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & , x < l; \\ \frac{x-l}{m-l} & , x \in [l, m]; \\ \frac{u-x}{m-u} & , x \in (m, u]; \\ 0 & , x > u. \end{cases} \quad (2.6)$$

Lalla (2004) menyimpulkan bahwa himpunan *fuzzy* adalah metode yang fleksibel dalam mendapatkan nilai numerik dari variabel ordinal, seperti data evaluasi saja, dan menyajikan tidak ada masalah mengenai beberapa tipe dari beberapa skala seperti masalah posisi tengah, yang hilang dalam prosedur operasi

himpunan *fuzzy*. Desain himpunan *fuzzy* dapat dengan mudah disesuaikan dengan pengetahuan seorang ahli bidang dalam fuzzifikasi nilai input dan membangun aturan dasar, selama mereka memungkinkan untuk adaptasi terbaik. Oleh karena itu, dengan dasar pertimbangan adanya kesalahan paralaks dalam pengukuran nilai parameter, fuzzifikasi indeks pencemaran dilakukan dengan memperhatikan bilangan bulat di sekitar nilai indeks pencemaran untuk setiap *series*.

## 2.5 Jaringan Syaraf Fuzzy Radial Basis Function (FRBF)

Model Jaringan Syaraf Fuzzy Radial Basis Function (FRBF) ini adalah metode *supervised-and-unsupervised learning* sehingga dapat digunakan sebagai peramalan. Konsep dasar dari model jaringan syaraf Fuzzy Radial Basis Function (FRBF) ini adalah penerapan aplikasi teori *fuzzy* ke dalam model dasar jaringan syaraf Radial Basis Function (RBF). Langkah tersebut dimaksudkan untuk dapat mengembangkan kualitas hasil estimasi dari terbatasnya data dan karakteristik data yang berbeda antar parameter kualitas air Kali Surabaya. Model jaringan syaraf Fuzzy Radial Basis Function (FRBF) adalah model *unsupervised-and-supervised learning* (Sheng-Chai Chi dan Li-Chang Hsu, 2001). Algoritma *learning* ini dapat dibagi dalam dua tahap, yaitu model *unsupervised learning* dan model *supervised learning*. Arsitektur Jaringan Syaraf FRBF dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Arsitektur Jaringan Syaraf Fuzzy Radial Basis Function (FRBF)

Sesuai dengan Gambar 2.4, proses algoritma *unsupervised learning* dimulai dengan fuzzifikasi proses *training* ke dalam pusat initial *fuzzy* pada *hidden layer* pada jaringan syaraf *FRBF*. Kemudian memasukkan vektor *fuzzy* yang merepresentasikan interval  $\alpha$  – cut *fuzzy* dari neuron input ke-  $i$  pada waktu  $t$ . Selanjutnya, jarak *fuzzy* antara vektor input dan masing-masing neuron pada *hidden layer* dihitung dan didefuzzifikasi menggunakan metode *Center Of Gravity* hingga menemukan neuron terpilih  $j^*$  dengan jarak minimum pada *hidden layer*. Neuron terpilih  $j^*$  (atau pusat) kemudian diperbarui nilai *fuzzy* dan mengurangi nilai *learning rate* dan mengulang langkah hingga jumlah putaran learning mencapai nilai yang telah ditentukan.

Selain itu, proses *supervised learning* dapat diekspresikan dengan menghitung nilai *output* pada neuron *hidden*, neuron *output*, dan nilai *error* antara yang diinginkan dan respon sebenarnya. Langkah *supervised learning* selanjutnya adalah menyesuaikan bobot *connection* antara neuron *hidden* dan neuron *output*. Langkah-langkah tersebut diulang hingga jumlah perulangan *training* yang telah didefinisikan atau *error* yang diperbolehkan dicapai.

## 2.6 Kualitas Air Sungai

Kualitas air sungai sangat tergantung pada komponen penyusunnya dan banyak dipengaruhi oleh masukan komponen yang berasal dari pemukiman. Perairan yang melintasi daerah pemukiman dapat menerima masukan bahan organik yang berasal dari aktifitas penduduk. Dengan demikian keberadaan ekosistem sungai terkait integrasi dengan lingkungan sosial dan fisik di sekitarnya.

Menurut Riyadi (1984), parameter-parameter yang digunakan untuk mengukur kualitas air meliputi sifat fisik, kimia, dan biologis. Parameter-parameter tersebut adalah sebagai berikut.

### 1. Sifat fisik

Parameter fisik air yang sangat menentukan kualitas air adalah kekeruhan (turbiditas), suhu, warna, bau, rasa, jumlah padatan tersuspensi, padatan terlarut dan daya hantar listrik (DHL).



## 2. Sifat kimia

Sifat kimia yang dapat dijadikan indikator yang menentukan kualitas air adalah pH, konsentrasi dari zat-zat kalium, magnesium, mangan, besi, sulfida, sulfat, amoniak, nitrit, nitrat, fosfat, oksigen terlarut, *BOD*, *COD*, minyak, lemak serta logam berat.

## 3. Sifat biologis

Organisme dalam perairan dapat dijadikan indikator pencemaran suatu lingkungan perairan, misalnya bakteri, ganggang, benthos, plankton dan ikan tertentu. Penentuan kualitas air, pada dasarnya dapat dilakukan dengan pengujian untuk membuktikan apakah air itu layak dikonsumsi. Penetapan standar sebagai batas mutu minimal yang harus dipenuhi ditentukan oleh standar internasional, standar nasional, maupun standar perusahaan.

Pada penelitian ini, parameter kualitas air yang digunakan adalah *DO*, *BOD*, dan *COD* karena parameter-parameter tersebut merupakan parameter utama dalam penentuan status kualitas air. Berikut adalah penjelasan mengenai masing-masing parameter.

### 1. Oksigen Terlarut (*DO*)

Oksigen terlarut merupakan parameter mutu air yang penting karena nilai oksigen terlarut dapat menunjukkan tingkat pencemaran atau tingkat pengolahan air limbah. Oksigen terlarut ini akan menentukan kesesuaian suatu jenis air sehingga sebagai sumber kehidupan biota

### 2. *Biochemical Oxygen Demand (BOD)*

*BOD (Biochemical Oxygen Demand)* menunjukkan jumlah oksigen terlarut yang dibutuhkan oleh organisme hidup untuk memecah atau mengoksidasi bahan-bahan buangan di dalam air. Jadi nilai *BOD* tidak menunjukkan jumlah bahan organik yang sebenarnya, tetapi hanya mengukur secara relatif jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan-bahan buangan tersebut.

### 3. *Chemical Oxygen Demand (COD)*

*Chemical Oxygen Demand* adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat-zat organik yang ada dalam 1 L sampel air. *COD* menggambarkan jumlah total oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan organik secara kimiawi, baik yang dapat didegradasi secara biologis

(*biodegradable*) maupun yang sukar didegradasi secara biologis (*non-biodegradable*) menjadi  $CO_2$  dan  $H_2$ .

## 2.7 Metode Indeks Pencemaran

Menurut Lutfi Abdul Aziz dan Idris Maxdoni Kamil (2013), evaluasi kualitas air permukaan seperti sungai merupakan hal yang bersifat kompleks dengan melibatkan banyak parameter yang berpengaruh terhadap badan air. Oleh karena itu dikembangkan pendekatan secara analisa statistik dari parameter parameter yang ada menjadi sistem indeks kualitas air. Penggunaan indeks kualitas air dapat mempermudah penentuan kualitas badan air serta mempermudah juga dalam pemberian informasi kepada pihak yang membutuhkan karena mudah dimengerti.

Dalam Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 115 tahun 2003 tentang pedoman penentuan status mutu air telah diatur metode evaluasi kualitas badan air dengan indeks kualitas air. Penentuan status mutu air dapat menggunakan Metoda STORET atau Metoda Indeks Pencemaran. Pedoman untuk menentukan status mutu air dengan Metoda Indeks Pencemaran dilakukan sesuai dengan pedoman pada Lampiran II Keputusan tersebut.

Indeks Pencemaran (*Pollution Index*) adalah suatu indeks yang digunakan untuk menentukan tingkat pencemaran relatif terhadap parameter kualitas air yang diizinkan (Nemerow, 1974). Indeks ini memiliki konsep yang berlainan dengan Indeks Kualitas Air (*Water Quality Index*). Indeks Pencemaran (IP) ditentukan untuk suatu peruntukan, kemudian dapat dikembangkan untuk beberapa peruntukan bagi seluruh bagian badan air atau sebagian dari suatu sungai. Pengelolaan kualitas air atas dasar Indeks Pencemaran (IP) ini dapat memberi masukan pada pengambil keputusan agar dapat menilai kualitas badan air untuk suatu peruntukan serta melakukan tindakan untuk memperbaiki kualitas jika terjadi penurunan kualitas akibat kehadiran senyawa pencemar.

## 2.8 *Mean Squared Error (MSE)*

Secara matematis tepat tidaknya hasil peramalan sangat dipengaruhi oleh besarnya nilai error. Salah satu metode pengukuran error hasil peramalan (Bishop, 1995) adalah dengan *Mean Squared Error (MSE)*. Perhitungan MSE dapat dilakukan dengan persamaan sebagai berikut.

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}$$

dengan  $P_i$  adalah nilai aktual atau target,  $O_i$  adalah nilai output, dan  $n$  adalah banyaknya jumlah data.

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1 Tahapan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini dicapai dengan melakukan beberapa tahapan penelitian. Beberapa tahapan tersebut adalah sebagai berikut.

##### **1) Ide Penelitian**

Penelitian ini merupakan salah satu bentuk aplikasi Jaringan Syaraf Tiruan dalam rangka pengelolaan dan pemantauan kualitas air Kali Surabaya. Salah satu tujuan penelitian ini adalah membangun model peramalan kualitas air dengan aplikasi Jaringan Syaraf Tiruan yaitu model Jaringan Syaraf *Fuzzy Radial Basis Function (FRBF)* terhadap Kali Surabaya.

##### **2) Studi Pendahuluan**

Studi pendahuluan dilakukan dengan tujuan untuk memecahkan permasalahan dengan menggunakan literatur yang berkaitan dengan permasalahan. Tahapan ini dimulai dengan perancangan sistem penelitian. Perancangan sistem penelitian dilakukan dengan menganalisa permasalahan dan melakukan kajian atas model-model ilmiah yang dapat digunakan maupun yang telah dilakukan dalam menghadapi permasalahan tersebut. Hal ini juga dimaksudkan untuk membuat kerangka penelitian seperti rumusan masalah, batasan masalah, tujuan serta manfaat penelitian. Studi pendahuluan ini meliputi jaringan syaraf *Radial Basis Function*, teori *fuzzy*, metode Indeks Pencemaran, dan kondisi Kali Surabaya.

##### **3) Persiapan Penelitian**

Pada tahapan ini juga dilakukan identifikasi parameter-parameter yang digunakan dalam penelitian ini. Pada penelitian ini, parameter yang digunakan adalah nilai *BOD*, *COD*, dan *DO* dari beberapa parameter kualitas air. Pemilihan parameter tersebut didasarkan atas pertimbangan peneliti yaitu sebagai berikut.

1. Nilai *BOD*, *COD* dan *DO* merupakan parameter utama dalam penentuan status kualitas air Kali Surabaya.
2. Periodik pemantauan terhadap nilai *BOD*, *COD* dan *DO* pada data yang dimiliki bersifat pendek yaitu setidaknya setiap bulan dilakukan pemantauan. Periode pemantauan yang pendek diharapkan mampu meningkatkan akurasi hasil penelitian dan mengetahui tren secara time series sebagai kelayakan data untuk diprediksi.
3. Tersedia data yang lengkap dalam 5 tahun untuk parameter *BOD*, *COD* dan *DO*, dikarenakan parameter tersebut merupakan parameter yang sering digunakan oleh instansi-instansi terkait sebagai acuan untuk menggambarkan kualitas air sungai.
4. Dengan menggunakan metode indeks pencemaran pada nilai konsentrasi *BOD*, *COD* dan *DO* pada Kali Surabaya dapat ditemukan nilai indeks pencemaran Kali Surabaya.

#### 4) Penulisan Proposal Penelitian

Hampir bersamaan dengan studi pendahuluan, penulisan proposal penelitian dimulai sebagai syarat untuk mengajukan pengambilan data penelitian pada beberapa instansi terkait. Penulisan proposal penelitian dimulai seminggu setelah studi pendahuluan mengenai indeks pencemaran. Langkah ini bertujuan untuk memperoleh data pendukung penelitian penelitian. Adapun cara untuk mendapatkan data tersebut dengan:

##### a) Wawancara

Wawancara merupakan suatu metode pengumpulan data yang dilakukan dengan melakukan komunikasi langsung dengan narasumber mengenai hal-hal yang berkaitan dengan objek penelitian.

##### b) Dokumentasi

Dokumentasi merupakan suatu metode pengumpulan data yang dilakukan dengan melihat dan menginterpretasikan data berupa arsip atau catatan perusahaan yang berkaitan dengan objek penelitian. Data tersebut merupakan data sekunder.

#### 5) Pengambilan dan Pengumpulan Data dari Instansi Terkait

Penelitian ini dimulai dengan penentuan lokasi dan waktu pengambilan objek penelitian. Objek penelitian yang diperlukan dalam peramalan indeks pencemaran Kali Surabaya adalah parameter kualitas air yang bersifat *time series* dalam kurun waktu minimal 5 tahun dengan periodik yang pendek. Kemudian dilakukan pengumpulan data objek penelitian pada lokasi dan waktu tersebut.

Kegiatan pengambilan data mulai dilaksanakan pada bulan September 2014. Pengambilan data dilakukan dengan menghubungi beberapa instansi terkait dengan tujuan mendapatkan data objek penelitian. Beberapa instansi terkait tersebut diantaranya adalah Perum Jasa Tirta Malang, Badan Lingkungan Hidup Kota Surabaya, Balai Besar Teknik Kesehatan Lingkungan dan Penanggulangan Penyakit (BBTKLPP) Kota Surabaya serta PDAM Kota Surabaya.

Dari pengambilan data pada beberapa instansi terkait, diambil suatu data *time series* yang memiliki jumlah data yang terbanyak dan juga memiliki periodik yang pendek. Data parameter kualitas air secara *time series* yang diperoleh dari Perum Jasa Tirta Malang merupakan data yang memiliki jumlah data yang terbanyak dan juga memiliki periodik yang pendek. Data *time series* tersebut dimulai pada data tahun 2008 hingga 2013 dengan pengambilan data mingguan.

#### 6) Studi dan Perancangan Model *FRBF*

Model dan arsitektur model yang akan dirancang adalah model Jaringan Syaraf *Fuzzy Radial Basis Function (FRBF)*. Model *FRBF* merupakan pengaplikasian teori *fuzzy* ke dalam model *RBF*. Teori *fuzzy* mulai diaplikasikan dengan memfuzzifikasi proses training ke dalam pusat *initial fuzzy* pada *hidden layer* dalam model *RBF*. Selanjutnya jarak *fuzzy* antara vektor *input* dan masing-masing neuron pada *hidden layer* dihitung dan didefuzzifikasi. Jarak Minimum yang didapat pada *hidden layer* tersebut dipilih menjadi neuron terpilih yang digunakan dalam algoritma model *RBF* selanjutnya. Langkah-langkah tersebut diulang hingga mencapai jumlah *learning* yang ditentukan.

#### 7) *Training, Testing, dan Validasi Model FRBF*

Pada model jaringan syaraf *Fuzzy Radial Basis Function* yang telah terbentuk arsitektur beserta parameternya dilakukan proses *training* dan *testing* model. Proses *training* dilakukan dengan menginputkan data pada model dan *re-training* model jaringan syaraf tersebut agar dapat memberikan peramalan dari nilai parameter-parameter tersebut. Proses *testing* dilakukan dengan tujuan menguji hasil peramalan yang didapatkan dari proses *training*. Pengujian hasil *testing* dilakukan dengan membandingkan hasil peramalan tersebut dengan data sebenarnya. Persentase data yang digunakan sebagai data *training* adalah sebesar 70% dan sisanya untuk digunakan pada proses *testing*.

Implementasi pengkodean model digunakan sebagai simulasi model peramalan kualitas air dan indeks pencemaran pada Kali Surabaya. Pada penelitian ini, implementasi pengkodean model diterapkan pada *software* MATLAB. Implementasi pengkodean model juga berfungsi untuk memudahkan penulis dan pembaca dalam menganalisa hasil peramalan tersebut.

#### 8) Penentuan Status Kualitas Air Kali Surabaya

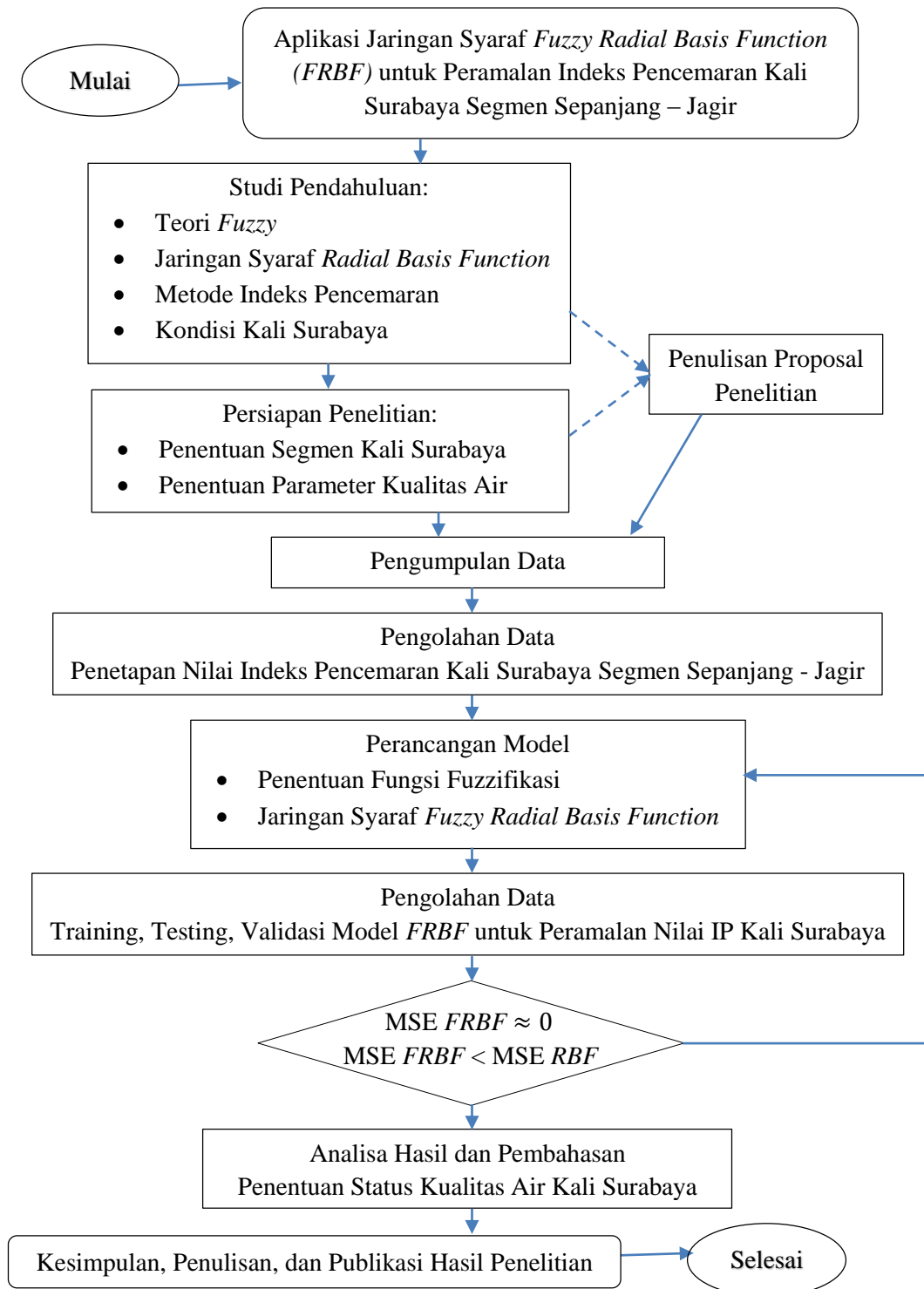
Hasil peramalan yang didapatkan dari implementasi model dianalisa dan dilakukan pembahasan sesuai dengan rumusan masalah penelitian sehingga mendapatkan sebuah hasil dan kesimpulan dari tujuan tersebut. Hasil peramalan dengan model *FRBF* pada penelitian ini disesuaikan dengan aturan penentuan status kualitas air dan indeks pencemaran yang telah ditetapkan dalam analisa bidang teknik lingkungan.

#### 9) Kesimpulan, Penulisan, dan Publikasi Hasil Penelitian

Sebuah hasil penelitian akan sangat bermanfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi jika hasil penelitian tersebut dapat dipublikasikan pada suatu forum ilmiah. Bagian dari penelitian ini yang berjudul “Peramalan Nilai Indeks Pencemaran Kali Surabaya dengan Model Jaringan Syaraf *Fuzzy Radial Basis Function*” telah dipublikasikan pada Prosiding Seminar Teknologi Lingkungan 2014: 3 Desember 2014 dengan nomor ISBN 978-602-95595-9-0.

### 3.2 Diagram Proses Penelitian

Berdasarkan uraian tahapan penelitian pada subbab 4.1 dapat digambarkan dalam sebuah diagram proses penelitian. Diagram proses penelitian tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.1 berikut.



Gambar 3.1 Diagram Proses Penelitian





## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Peramalan kondisi pencemaran air mendatang yang berupa nilai indeks pencemaran dengan menggunakan salah satu pengembangan metode matematika yaitu jaringan syaraf *Fuzzy Radial Basis Function* merupakan salah satu upaya pemantauan kualitas air Kali Surabaya dan sekitarnya. Penelitian ini dilakukan dengan penentuan segmen Kali Surabaya, *preprocessing* data, penentuan nilai indeks pencemaran Kali Surabaya segmen Sepanjang – Jagir, peramalan nilai indeks pencemaran dengan jaringan syaraf *Fuzzy Radial Basis Function*, perbandingan hasil peramalan IP dengan jaringan syaraf *Fuzzy Radial Basis Function* dan *Radial Basis Function*, dan penentuan status perairan mendatang segmen Sepanjang – Jagir.

### 4.1 Penentuan Segmen Kali Surabaya

Kali Surabaya merupakan salah satu cabang dari Kali Brantas yang terpisah di Mojokerto. Kali Surabaya mengalir sepanjang kurang lebih 42 km dari Kota Mojokerto ke arah timur laut melalui Kabupaten Sidoarjo, Kabupaten Gresik dan Kota Surabaya. Air Kali Surabaya memiliki peran penting bagi kehidupan masyarakat, khususnya yang tinggal di Kota Surabaya, yaitu sebagai air baku air minum oleh PDAM Surabaya. Perum Jasa Tirta sebagai badan yang mengelola dan memantau kualitas badan air Kali Surabaya memiliki 9 stasiun pemantauan sebagai upaya pemantauan kualitas air Kali Surabaya. Jarak antar stasiun pemantauan disebut sebagai segmen. Terdapat 8 segmen pada Kali Surabaya dengan panjang setiap segmen dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Jarak Antar Stasiun Pemantauan

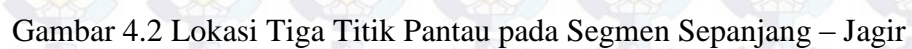
No.	Segmen Pemantauan	Jarak (km)
1	Canggu – Perning	5,9
2	Perning – Jrebeng	11,15
3	Jrebeng – Cangkir	7,5
4	Cangkir – Bambe	4,9
5	Bambe – Karangpilang	2,5
6	Karangpilang – Sepanjang	1,15
7	Sepanjang – Gunungsari	5,45
8	Gunungsari – Jagir	2,65

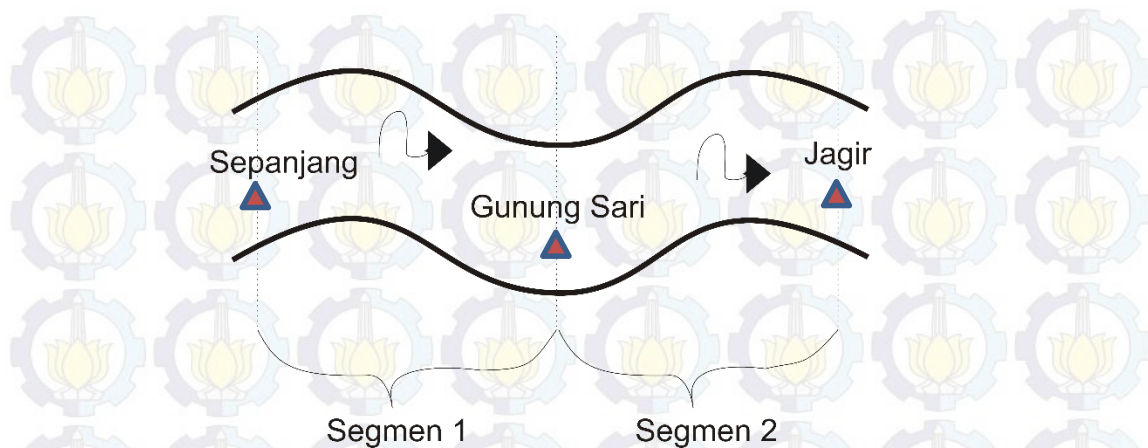
Sumber: Perum Jasa Tirta, 2007 dalam Indraswari, 2007

Pada studi pemetaan industri berpotensi cemar yang dilakukan Dinas Perindustrian dan Perdagangan Provinsi Jawa Timur dan Jurusan Teknik Lingkungan ITS diperoleh hasil bahwa pencemaran air Kali Surabaya terjadi sejak kilometer ke-24 (dari Dam Jagir) dan yang tertinggi adalah setelah ada masukan aliran dari Kali Tengah (Purnomo, 2011). Hal tersebut juga didukung oleh penelitian Karnaningroem (2010) bahwa dari segmen Cangkir – Sepanjang, segmen yang masih memenuhi persyaratan air baku air minum hanya pada segmen Cangkir – Bambe. Salah satu penyebab terjadinya keadaan tersebut adalah terlalu banyaknya masukan kandungan pencemar terutama bahan organik di lokasi sebelum Sepanjang.

Oleh karena itu, pada penelitian ini segmen Kali Surabaya yang diambil adalah segmen Sepanjang – Jagir. Segmen Sepanjang – Jagir dapat dibagi dalam dua segmen dengan tiga lokasi titik pantau, yaitu Sepanjang, Gunungsari, dan Jagir. Lokasi Kali Surabaya pada DPS Kali Brantas dapat dilihat pada Gambar 4.1. Lokasi tiga titik pantau pada segmen tersebut terlihat pada Gambar 4.2. Ilustrasi pembagian segmen Kali Surabaya (Sepanjang – Jagir) dapat dilihat pada Gambar 4.2.







Gambar 4.3 Ilustrasi Pembagian Kali Surabaya Segmen Sepanjang – Jagir

## 4.2 *Preprocessing Data*

Data yang diperoleh memuat data *time series* nilai parameter kualitas air Kali Surabaya untuk titik pantau Jembatan Sepanjang, Bendungan Gunungsari dan Jagir pada bulan Januari 2008 hingga Juni 2013. Parameter kualitas air yang digunakan dalam penelitian ini adalah parameter *BOD*, *COD* dan *DO*. Pemakaian tiga parameter tersebut dikarenakan pada parameter lain terdapat beberapa data tidak lengkap untuk parameter kualitas air Kali Surabaya serta tiga parameter tersebut merupakan parameter utama dalam penentuan status kualitas air.

*Preprocessing* data dilakukan untuk mengetahui kelayakan data untuk diprediksi dengan melihat tren *time series* data pada *plot time series*. Selain itu, *preprocessing* data juga dilakukan untuk mengetahui ada tidaknya data kosong ataupun data pencilan dengan melihat *descriptive statistics* dari data *time series* tersebut. Nilai yang didapat pada *descriptive statistics* untuk setiap data *time series* adalah nilai standart deviasi, rata – rata, maksimum dan minimum. *Preprocessing* data dilakukan pada masing-masing data *time series* parameter *BOD*, *COD* dan *DO* Kali Surabaya pada titik pantau segmen Sepanjang –Jagir yaitu Sepanjang, Gunungsari, dan Jagir.

### 4.2.1 **Data Kualitas Air Kali Surabaya Titik Pantau Sepanjang**

Titik pantau Sepanjang adalah titik pantau pertama pada segmen Sepanjang – Jagir yang digunakan dalam penelitian ini. Titik pantau Sepanjang



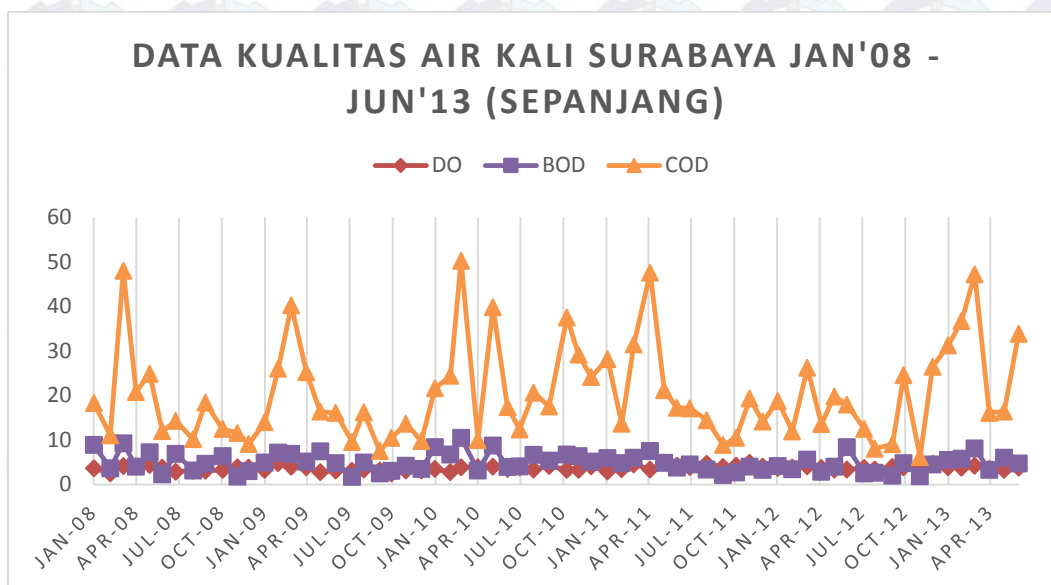
terletak pada Jembatan Sepanjang yang terletak di sebelah Jalan Mastrip, Sepanjang, Sidoarjo. Lokasi titik pantau Sepanjang dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Lokasi Titik Pantau Sepanjang

Data *time series* kualitas air Kali Surabaya Titik Pantau Sepanjang terdiri dari 3 variabel parameter kualitas air, yaitu *BOD*, *COD* dan *DO* yang masing – masing berjumlah 66 *series*. Untuk mengetahui tren *time series* data kualitas air untuk titik pantau Sepanjang, data diplot ke dalam *plot time series* dengan menggunakan Microsoft Excel 2013. *Plot time series* data kualitas air Kali Surabaya titik pantau Sepanjang dapat dilihat pada Gambar 4.5. Sedangkan untuk mendapatkan nilai *descriptive statistics* yang berupa nilai rata – rata, standar deviasi, maksimum dan minimum, data diproses dengan menggunakan salah satu software analisis statistika yaitu MINITAB 14. *Descriptive statistics* data kualitas air Kali Surabaya titik pantau Sepanjang dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Pada Gambar 4.5 terlihat nilai *DO* air Kali Surabaya titik pantau Sepanjang berkisar antara 0 dan 10 dengan nilai rentang yang kecil antar masing – masing nilai. Begitu juga untuk nilai *BOD* yang terlihat berkisar antara 0 dan 10 namun dengan rentang yang lebih besar antar masing – masing nilai dibandingkan dengan rentang antar nilai pada parameter *DO*. Sedangkan nilai *COD* memiliki persekitaran nilai yang besar yaitu antara 0 hingga 50. Nilai parameter *COD* juga memiliki rentang yang besar antar masing – masing nilai dengan kenaikan tinggi yang terlihat pada setiap awal tahunnya.



Gambar 4.5 *Plot Time series* Data Kualitas Air Kali Surabaya TP. Sepanjang

Tabel 4.2 *Descriptive statistics* Kualitas Air TP. Sepanjang

Variable	Mean	StDev	Minimum	Maximum
DO	3.7105	0.5494	2.5000	4.9900
BOD	4.970	2.071	1.730	10.530
COD	20.33	10.86	6.19	50.26

Sesuai dengan yang terlihat pada *plot time series*, pada Tabel 4.2 terlihat bahwa data *time series* parameter *DO* memiliki nilai *mean* (rata – rata) terkecil. Nilai rata – rata tersebut sebesar 3,7105 dan telah melewati angka batas minimum nilai parameter *DO* dalam Baku Mutu Air Kelas II yaitu sebesar 4. Data *time series* parameter *BOD* memiliki nilai *mean* (rata – rata) sebesar 4,970 yang juga melewati batas maksimum nilai parameter *BOD* dalam Baku Mutu Air Kelas II yaitu sebesar 3. Sedangkan data *time series* parameter *COD* yang memiliki nilai *mean* (rata – rata) tertinggi yaitu sebesar 20,33 tidak melebihi batas maksimum nilai parameter *COD* dalam Baku Mutu Air Kelas II. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa nilai rata – rata dari ketiga parameter yang memenuhi Baku Mutu Air Kelas II, sesuai peruntukannya untuk Kali Surabaya, hanyalah nilai rata – rata parameter *COD*.



Standar deviasi menunjukkan tingkat keberagaman suatu kumpulan data. Nilai standar deviasi untuk ketiga parameter dari yang terkecil hingga terbesar secara berturut – turut adalah nilai standar deviasi data *time series* parameter *DO* sebesar 0,5494, nilai standar deviasi data *time series* parameter *BOD* sebesar 2,071, dan nilai standar deviasi data *time series* parameter *COD* sebesar 10,86. Hal tersebut menunjukkan bahwa tingkat keberagaman dalam data *time series* parameter *COD* cukup tinggi dibandingkan dengan data *time series* parameter lainnya. Tingginya tingkat keberagaman data *time series* parameter *COD* juga ditunjukkan oleh tingginya rentang antar nilai minimum dengan nilai maksimum yaitu antara 6,19 dengan 50,26. Dengan rentang yang tinggi tersebut serta perbedaan standar deviasi yang besar pada ketiga data *time series* parameter kualitas air Kali Surabaya titik pantau Sepanjang serta kemungkinan adanya *outlier*, digunakan suatu nilai yang diharapkan dapat mewakili ketiga parameter tersebut dalam penelitian ini, yaitu nilai indeks pencemaran untuk setiap *series*.

#### 4.2.2 Data Kualitas Air Kali Surabaya Titik Pantau Gunungsari

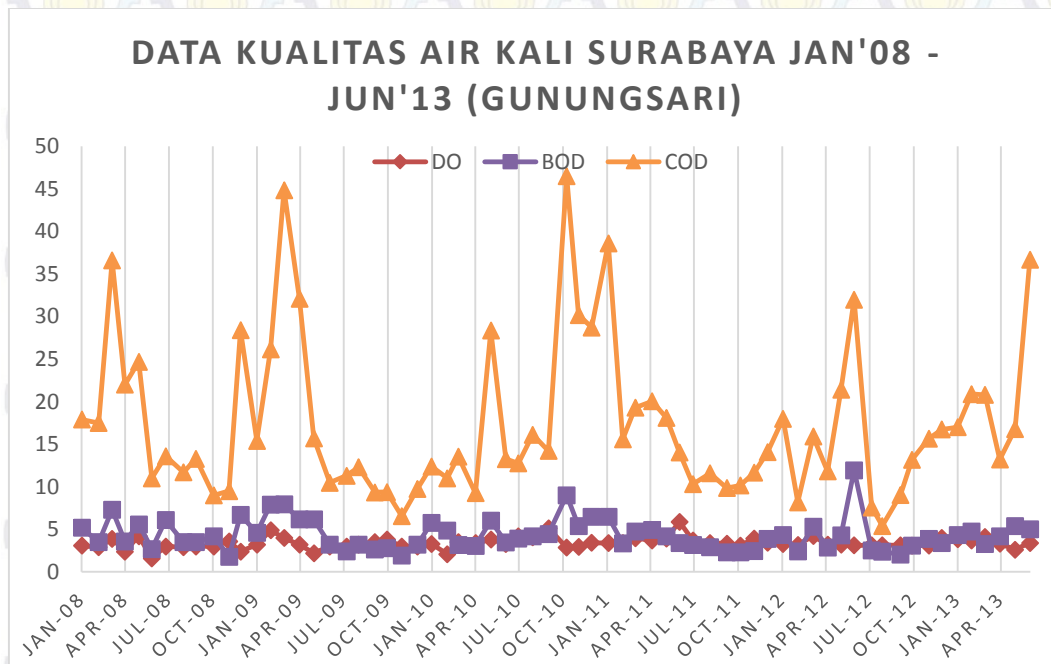
Titik pantau Gunungsari adalah titik pantau kedua pada segmen Sepanjang – Jagir yang digunakan dalam penelitian ini. Titik pantau Gunungsari terletak pada Bendungan Gunungsari merupakan titik bertemunya air dari Muara Kali Kedurus pada Kali Surabaya yang terletak di sebelah Jalan Raya Karah, Surabaya. Lokasi titik pantau Gunungsari dapat dilihat pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Lokasi Titik Pantau Gunungsari



Data *time series* kualitas air Kali Surabaya Titik Pantau Gunungsari terdiri dari 3 variabel parameter kualitas air, yaitu *COD*, *BOD*, dan *DO* yang masing – masing berjumlah 66 *series*. Untuk mengetahui tren *time series* data kualitas air untuk titik pantau Gunungsari, data diplot ke dalam *plot time series* dengan menggunakan Microsoft Excel 2013. *Plot time series* data kualitas air Kali Surabaya titik pantau Gunungsari dapat dilihat pada Gambar 4.7. Sedangkan untuk mendapatkan nilai *descriptive statistics* yang berupa nilai rata – rata, standar deviasi, maksimum dan minimum, data diproses dengan menggunakan salah satu software analisis statistika yaitu MINITAB 14. *Descriptive statistics* data kualitas air Kali Surabaya titik pantau Gunungsari dapat dilihat pada Tabel 4.3.



Gambar 4.7 *Plot Time series* Data Kualitas Air Kali Surabaya TP. Gunungsari

Pada Gambar 4.7 terlihat nilai *DO* air Kali Surabaya titik pantau Gunungsari berkisar antara 0 dan 5 dengan nilai rentang yang kecil antar masing – masing nilai. Begitu juga untuk nilai *BOD* yang terlihat berkisar antara 0 dan 10 namun dengan rentang yang lebih besar antar masing – masing nilai dibandingkan dengan rentang antar nilai pada parameter *DO*. Sedangkan nilai *COD* memiliki persekitaran nilai yang besar yaitu antara 0 hingga 50. Nilai parameter *COD* juga

memiliki rentang yang besar antar masing – masing nilai dengan kenaikan tinggi yang terlihat pada setiap awal tahunnya.

Tabel 4.3 *Descriptive statistics* Kualitas Air TP. Gunungsari

<b>Descriptive Statistics: DO, BOD, COD Gunungsari</b>				
Variable	Mean	StDev	Minimum	Maximum
DO	3.3956	0.6668	1.6000	5.9000
BOD	4.323	1.849	1.800	11.940
COD	17.331	9.113	5.413	46.499

Sesuai dengan yang terlihat pada *plot time series*, pada Tabel 4.3 terlihat bahwa data *time series* parameter *DO* memiliki nilai *mean* (rata – rata) terkecil. Nilai rata – rata tersebut sebesar 3,3956 dan telah melewati angka batas minimum nilai parameter *DO* dalam Baku Mutu Air Kelas II yaitu sebesar 4. Data *time series* parameter *BOD* memiliki nilai *mean* (rata – rata) sebesar 4,323 yang juga melewati batas maksimum nilai parameter *BOD* dalam Baku Mutu Air Kelas II yaitu sebesar 3. Sedangkan data *time series* parameter *COD* yang memiliki nilai *mean* (rata – rata) tertinggi yaitu sebesar 17,331 tidak melebihi batas maksimum nilai parameter *COD* dalam Baku Mutu Air Kelas II. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa nilai rata – rata dari ketiga parameter yang memenuhi Baku Mutu Air Kelas II, sesuai peruntukannya untuk Kali Surabaya, hanyalah nilai rata – rata parameter *COD*.

Standar deviasi menunjukkan tingkat keberagaman suatu kumpulan data. Nilai standar deviasi untuk ketiga parameter dari yang terkecil hingga terbesar secara berturut – turut adalah nilai standar deviasi data *time series* parameter *DO* sebesar 0,6668, nilai standar deviasi data *time series* parameter *BOD* sebesar 1,849, dan nilai standar deviasi data *time series* parameter *COD* sebesar 9,113. Hal tersebut menunjukkan bahwa tingkat keberagaman dalam data *time series* parameter *COD* cukup tinggi dibandingkan dengan data *time series* parameter lainnya. Tingginya tingkat keberagaman data *time series* parameter *COD* juga ditunjukkan oleh tingginya rentang antar nilai minimum dengan nilai maksimum yaitu antara 5,413 dengan 46,499. Dengan rentang yang tinggi tersebut serta



perbedaan standar deviasi yang besar pada ketiga data *time series* parameter kualitas air Kali Surabaya titik pantau Gunungsari serta kemungkinan adanya *outlier*, digunakan suatu nilai yang diharapkan dapat mewakili ketiga parameter tersebut dalam penelitian ini, yaitu nilai indeks pencemaran untuk setiap *series*.

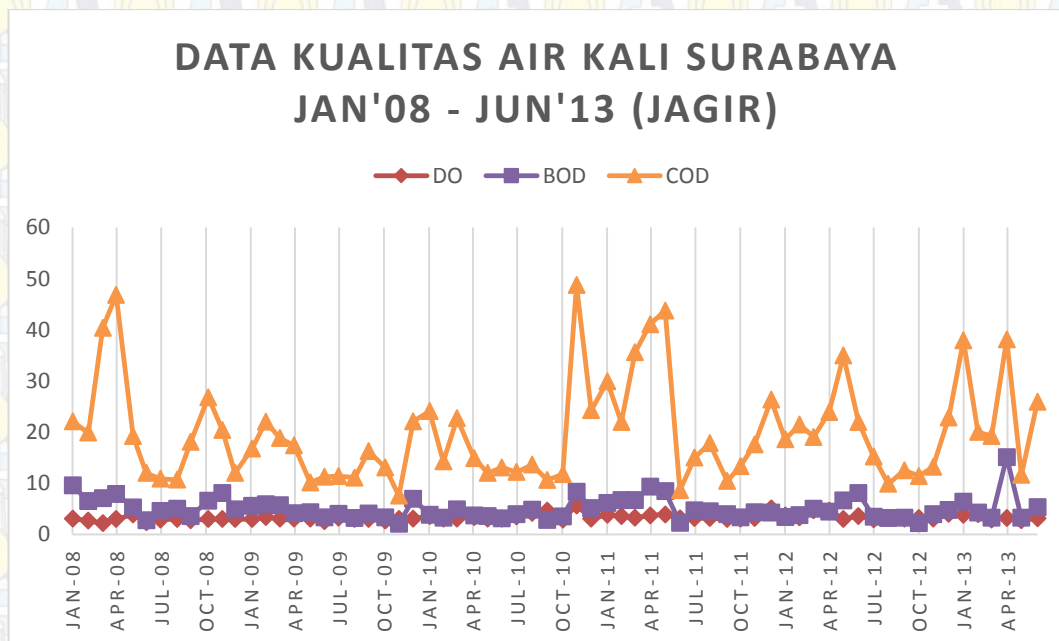
#### 4.2.3 Data Kualitas Air Kali Surabaya Titik Pantau Jagir

Titik pantau Jagir adalah titik pantau ketiga dan terakhir pada segmen Sepanjang – Jagir yang digunakan dalam penelitian ini. Titik pantau Jagir terletak pada Pintu Air Jagir merupakan titik terakhir Kali Surabaya sebelum terpecah menjadi Kali Mas dan Kali Marmoyo. Berdekatan dengan Pintu Air Jagir pula PDAM Kota Surabaya yang terletak di Ngagel mengambil air Kali Surabaya sebagai air baku air minum. Lokasi titik pantau Jagir dapat dilihat pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Lokasi Titik Pantau Jagir

Data *time series* kualitas air Kali Surabaya Titik Pantau Jagir terdiri dari 3 variabel parameter kualitas air, yaitu *COD*, *BOD*, dan *DO* yang masing – masing berjumlah 66 *series*. Untuk mengetahui tren *time series* data kualitas air untuk titik pantau Jagir, data diplot ke dalam *plot time series* dengan menggunakan Microsoft Excel 2013. *Plot time series* data kualitas air Kali Surabaya titik pantau Jagir dapat dilihat pada Gambar 4.9. Sedangkan untuk mendapatkan nilai *Descriptive statistics* yang berupa nilai rata – rata, standar deviasi, maksimum dan minimum, data diproses dengan menggunakan salah satu software analisis statistika yaitu MINITAB 14. *Descriptive statistics* data kualitas air Kali Surabaya titik pantau Jagir dapat dilihat pada Tabel 4.4.



Gambar 4.9 *Plot Time series* Data Kualitas Air Kali Surabaya TP. Jagir

Pada Gambar 4.9 terlihat nilai *DO* air Kali Surabaya titik pantau Jagir berkisar antara 0 dan 5 dengan nilai rentang yang kecil antar masing – masing nilai. Begitu juga untuk nilai *BOD* yang terlihat berkisar antara 0 dan 10 namun dengan rentang yang lebih besar antar masing – masing nilai dibandingkan dengan rentang antar nilai pada parameter *DO*. Sedangkan nilai *COD* memiliki persekitaran nilai yang besar yaitu antara 0 hingga 50. Nilai parameter *COD* juga memiliki rentang yang besar antar masing – masing nilai dengan kenaikan tinggi yang terlihat pada setiap awal tahunnya.

Tabel 4.4 *Descriptive statistics* Kualitas Air TP. Jagir

Descriptive Statistics: <i>DO, BOD, COD</i> Jagir				
Variable	Mean	StDev	Minimum	Maximum
<i>DO</i>	3.3231	0.6053	2.2000	5.6700
<i>BOD</i>	5.0082	2.1364	2.0800	15.1200
<i>COD</i>	19.967	9.853	7.587	48.730



Sesuai dengan yang terlihat pada *plot time series*, pada Tabel 4.4 terlihat bahwa data *time series* parameter *DO* memiliki nilai *mean* (rata – rata) terkecil. Nilai rata – rata tersebut sebesar 3,3231 dan telah melewati angka batas minimum nilai parameter *DO* dalam Baku Mutu Air Kelas II yaitu sebesar 4. Data *time series* parameter *BOD* memiliki nilai *mean* (rata – rata) sebesar 5,0082 yang juga melewati batas maksimum nilai parameter *BOD* dalam Baku Mutu Air Kelas II yaitu sebesar 3. Sedangkan data *time series* parameter *COD* yang memiliki nilai *mean* (rata – rata) tertinggi yaitu sebesar 19,967 tidak melebihi batas maksimum nilai parameter *COD* dalam Baku Mutu Air Kelas II. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa nilai rata – rata dari ketiga parameter yang memenuhi Baku Mutu Air Kelas II, sesuai peruntukannya untuk Kali Surabaya, hanyalah nilai rata – rata parameter *COD*.

Standar deviasi menunjukkan tingkat keberagaman suatu kumpulan data. Nilai standar deviasi untuk ketiga parameter dari yang terkecil hingga terbesar secara berturut – turut adalah nilai standar deviasi data *time series* parameter *DO* sebesar 0,6053, nilai standar deviasi data *time series* parameter *BOD* sebesar 2,1364, dan nilai standar deviasi data *time series* parameter *COD* sebesar 9,853. Hal tersebut menunjukkan bahwa tingkat keberagaman dalam data *time series* parameter *COD* cukup tinggi dibandingkan dengan data *time series* parameter lainnya. Tingginya tingkat keberagaman data *time series* parameter *COD* juga ditunjukkan oleh tingginya rentang antar nilai minimum dengan nilai maksimum yaitu antara 7,587 dengan 48,730. Dengan rentang yang tinggi tersebut serta perbedaan standar deviasi yang besar pada ketiga data *time series* parameter kualitas air Kali Surabaya titik pantau Jagir serta kemungkinan adanya *outlier*, digunakan suatu nilai yang diharapkan dapat mewakili ketiga parameter tersebut dalam penelitian ini, yaitu nilai indeks pencemaran untuk setiap *series*.

#### **4.3 Penentuan Nilai Indeks Pencemaran (IP) Kali Surabaya Segmen Sepanjang – Jagir**

Data parameter *DO*, *BOD*, dan *COD* pada Kali Surabaya secara *time series* dari tahun 2008 hingga 2013 dengan pengambilan data setiap bulan dari Perum Jasa Tirta Malang telah dilakukan *preprocessing data*. Pada *preprocessing data time*



*series* untuk masing – masing titik pantau kualitas air Kali Surabaya, yaitu Sepanjang, Gunungsari, dan Jagir dapat diketahui bahwa standart deviasi antar ketiga parameter dalam setiap titik pantau sangat berbeda. Oleh karena itu, sebelum meramalkan diperlukan metode yang dapat mengevaluasi nilai beberapa parameter kualitas air tersebut untuk mencapai satu nilai yang mampu mewakili kondisi pencemaran perairan tersebut. Metode Indeks Pencemaran (IP) adalah metode evaluasi nilai beberapa parameter kualitas air suatu perairan yang telah ditetapkan dalam Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 115 tahun 2003 tentang Pedoman Penentuan Status Mutu Air. Nilai Indeks Pencemaran (IP) merupakan nilai evaluasi beberapa nilai parameter kualitas air. Dengan menerapkan metode indeks pencemaran pada data nilai beberapa parameter kualitas air tersebut, didapatkan nilai indeks pencemaran untuk masing-masing waktu pengukuran.

Nilai IP mencakup berbagai kelompok parameter kualitas yang independent dan bermakna. Jika  $L_{ij}$  menyatakan konsentrasi parameter kualitas air yang dicantumkan dalam Baku Peruntukan Air ( $j$ ), dan  $C_i$  menyatakan konsentrasi parameter kualitas air ( $i$ ) yang diperoleh dari hasil analisis cuplikan air pada suatu lokasi pengambilan cuplikan dari suatu alur sungai, maka  $IP_j$  adalah Indeks Pencemaran bagi peruntukan ( $j$ ) yang merupakan fungsi dari  $C_i/L_{ij}$ . Nilai  $IP_j$  ditentukan dengan cara sebagai berikut:

1. Hitung nilai  $C_i/L_{ij}$  untuk setiap parameter dalam setiap *series*.
2. Jika nilai  $C_i/L_{ij} < 1,0$ , gunakan nilai  $(C_i/L_{ij})_{\text{hasil pengukuran}}$ ;  
Jika nilai  $C_i/L_{ij} > 1,0$ , gunakan nilai  $(C_i/L_{ij})_{\text{baru}}$ .  
dengan rumus berikut:  
$$(C_i/L_{ij})_{\text{baru}} = 1,0 + P \log(C_i/L_{ij})_{\text{hasil pengukuran}}$$
dan  $P$  = suatu konstanta yang biasanya ditentukan nilainya 5.
3. Tentukan nilai rata-rata dan nilai maksimum dari keseluruhan  $C_i/L_{ij}$ , yaitu  $(C_i/L_{ij})_R$  dan  $(C_i/L_{ij})_M$ ,
4. Tentukan nilai  $IP_j$  dengan rumus sebagai berikut:

$$IP_j = \sqrt{\frac{(C_i/L_{ij})_M^2 + (C_i/L_{ij})_R^2}{2}}$$

dengan  $M$  = nilai maksimum ;  $R$  = nilai rata-rata

Metoda ini dapat langsung menghubungkan tingkat ketercemaran dengan dapat atau tidaknya sungai dipakai untuk penggunaan tertentu dan dengan nilai parameter-parameter tertentu. Evaluasi terhadap nilai IP adalah :

$0 \leq IP_j \leq 1,0$  : memenuhi baku mutu (kondisi baik),

$1,0 < IP_j \leq 5,0$  : cemar ringan,

$5,0 < IP_j \leq 10$  : cemar sedang,

$IP_j > 10$  : cemar berat.

Klasifikasi status perairan berdasarkan evaluasi nilai indeks pencemaran yang pada Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 115 tahun 2003 tentang pedoman penentuan status mutu air digunakan sebagai penentuan status kualitas air Kali Surabaya untuk setiap nilai indeks pencemaran.

Sesuai dengan peruntukannya, menurut SK Gubernur Kepala Daerah Jawa Timur Nomor 413 Tahun 1997, Kali Surabaya yang merupakan salah satu sumber air minum diharapkan memenuhi standar mutu kualitas air baku kelas II. Oleh karena itu, pada penelitian ini nilai  $L_{ij}$  yang digunakan adalah nilai konsentrasi parameter kualitas air yang dicantumkan dalam Baku Mutu Air Kelas II untuk setiap parameter. Salah satu perhitungan nilai indeks pencemaran untuk satu series terlihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Perhitungan Nilai Indeks Pencemaran untuk titik pantau Sepanjang pada bulan Januari 2008

Parameter	$C_i$	$L_{ij}$	$C_i/L_{ij}$	$(C_i/L_{ij})_{baru}$
DO	3,7	4	0,925	0,925
BOD	8,9	3	2,967	3,361
COD	18,3	25	0,732	0,732
			Rata-rata	1,673
			Maksimal	3,361
			$IP_j$	2,655



Nilai Indeks Pencemaran untuk titik pantau Sepanjang pada bulan Januari 2008 ditetapkan sebesar 2,655 dengan menggunakan Metode Indeks Pencemaran untuk ketiga parameter yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu *DO*, *BOD*, dan *COD*. Nilai tersebut termasuk dalam status perairan tercemar ringan, yaitu terletak pada rentang 1,0 hingga 5,0. Pada Tabel 4.5 terlihat bahwa nilai *BOD* hasil pengukuran ( $C_i$ ) pada series tersebut lebih besar daripada nilai Baku Mutu ( $L_{ij}$ ) untuk parameter *BOD* sehingga jika nilai indeks pencemaran didapatkan dengan parameter *BOD* saja maka indeks pencemaran tersebut termasuk dalam status tercemar ringan. Sedangkan jika nilai indeks pencemaran series tersebut hanya didapatkan dengan parameter *COD* maka indeks pencemaran series tersebut dapat dikategorikan status perairan yang memenuhi Baku Muku Air kelas B. Indeks pencemaran yang digunakan sebagai acuan jika terjadi perbedaan nilai indeks pencemaran berdasarkan masing – masing parameter adalah indeks pencemaran tertinggi.

Pada data *time series* untuk ketiga titik pantau juga dilakukan perhitungan nilai indeks pencemaran (IP) seperti pada Tabel 4.5 untuk setiap *series*. Perhitungan untuk mendapatkan nilai indeks pencemaran dapat dijalankan dengan manual, Microsoft Excel 2013 maupun MATLAB 2013a. Hasil dan proses perhitungan nilai indeks pencemaran untuk seluruh *series* selanjutnya dalam ketiga titik pantau dengan menggunakan Microsoft Excel 2013 dapat dilihat pada Lampiran 2. Sedangkan untuk melakukan perhitungan nilai indeks pencemaran pada setiap *series* dengan menggunakan MATLAB 2013a diperlukan *source code* metode indeks pencemaran. *Source code* perhitungan metode indeks pencemaran dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 *Source Code* Metode Indeks Pencemaran

1	<code>Lij_do=4;</code>
2	<code>Lij_BOD=3;</code>
3	<code>Lij_COD=25;</code>
4	<code>excelnya=input('Nama file Excel =');</code>
5	<code>Cij_do=xlsread(excelnya,'A2:A121');</code>
6	<code>Cij_BOD=xlsread(excelnya,'B2:B121');</code>
7	<code>Cij_COD=xlsread(excelnya,'C2:C121');</code>
8	<code>for n=1:length(Cij_do)</code>
9	<code>CL_do(n)=Cij_do(n)/Lij_do;</code>
10	<code>CL_BOD(n)=Cij_BOD(n)/Lij_BOD;</code>



```

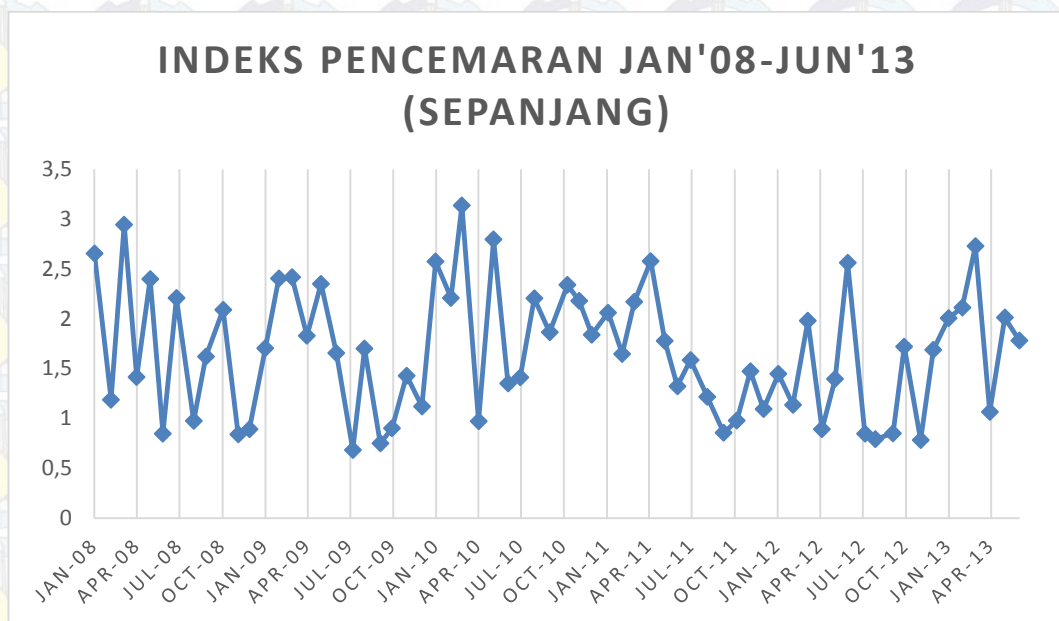
11      CL_COD(n)=Cij_COD(n)/Lij_COD;
12  if CL_do(n)>1
13      CL_do(n)=1+(5*log10(CL_do(n)));
14  else
15      CL_do(n)=CL_do(n);
16  end
17  if CL_BOD(n)>1
18      CL_BOD(n)=1+(5*log10(CL_BOD(n)));
19  else
20      CL_BOD(n)=CL_BOD(n);
21  end
22  if CL_COD(n)>1
23      CL_COD(n)=1+(5*log10(CL_COD(n)));
24  else
25      CL_COD(n)=CL_COD(n);
26  end
27  CLmax(n)=max(max(CL_do(n), CL_BOD(n)), CL_COD(n));
28  CLavg(n)=(CL_do(n)+CL_BOD(n)+CL_COD(n))/3;
29  IP(n)=sqrt(((CLmax(n)^2)+(CLavg(n)^2))/2);
30  end

```

*Source Code* yang ditampilkan pada Tabel 4.6 adalah *source code* metode indeks pencemaran yang digunakan untuk mendapatkan nilai indeks pencemaran untuk setiap *series* pada ketiga titik pantau segmen Sepanjang – Jagir. *Input* yang diperlukan dalam *source code* diatas adalah data *time series* parameter *DO*, *BOD*, dan *COD* yang disimbolkan dengan variabel *Cij\_do*, *Cij\_bod*, dan *Cij\_cod*. Sedangkan baku mutu yang digunakan dalam *source code* ini adalah baku mutu kualitas air kelas II berdasarkan PP No. 82 Tahun 2001. *Output* dari *source code* diatas adalah data *time series* indeks pencemaran Kali Surabaya untuk setiap titik pantau.

#### 4.3.1 Indeks Pencemaran Kali Surabaya Titik Pantau Sepanjang

*Plot data time series* Indeks Pencemaran (IP) Kali Surabaya titik pantau Sepanjang dapat dilihat pada Gambar 4.10 berikut. Sedangkan data *time series* keseluruhan Indeks Pencemaran (IP) Kali Surabaya titik pantau Sepanjang dapat dilihat pada Lampiran 2. *Descriptive statistics* juga dilakukan pada data *time series* Indeks Pencemaran (IP) Kali Surabaya titik pantau Sepanjang untuk mengetahui gambaran awal mengenai data *time series* tersebut. *Descriptive statistics* dari data tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.7.



Gambar 4.10 Indeks Pencemaran Kali Surabaya TP. Jembatan Sepanjang

Tabel 4.7 *Descriptive statistics* Indeks Pencemaran Kali Surabaya TP. Sepanjang

Descriptive Statistics: IP Sepanjang				
Variable	Mean	StDev	Minimum	Maximum
IP	1.6741	0.6421	0.6836	3.1366

Berdasarkan *plot data time series* dan *descriptive statistics* indeks pencemaran Kali Surabaya titik pantau Sepanjang pada Gambar 4.10 dan Tabel 4.7, dapat dijelaskan bahwa tingkat keberagaman nilai indeks pencemaran Kali Surabaya titik pantau Sepanjang kecil. Tingkat keberagaman tersebut terlihat dari kecilnya nilai standar deviasi data tersebut yaitu 0,6421. Sedangkan nilai minimum dan nilai maksimum data tersebut juga tidak memiliki rentang yang panjang yaitu 0,6836 dan 3,1366 dengan nilai *mean* sebesar 1,6741. Nilai rata – rata indeks pencemaran titik pantau Sepanjang pada Januari 2008 hingga Juni 2013 tidak memenuhi Baku Mutu Air dan dikategorikan pada kondisi tercemar ringan.

#### 4.3.2 Indeks Pencemaran Kali Surabaya Titik Pantau Gunungsari

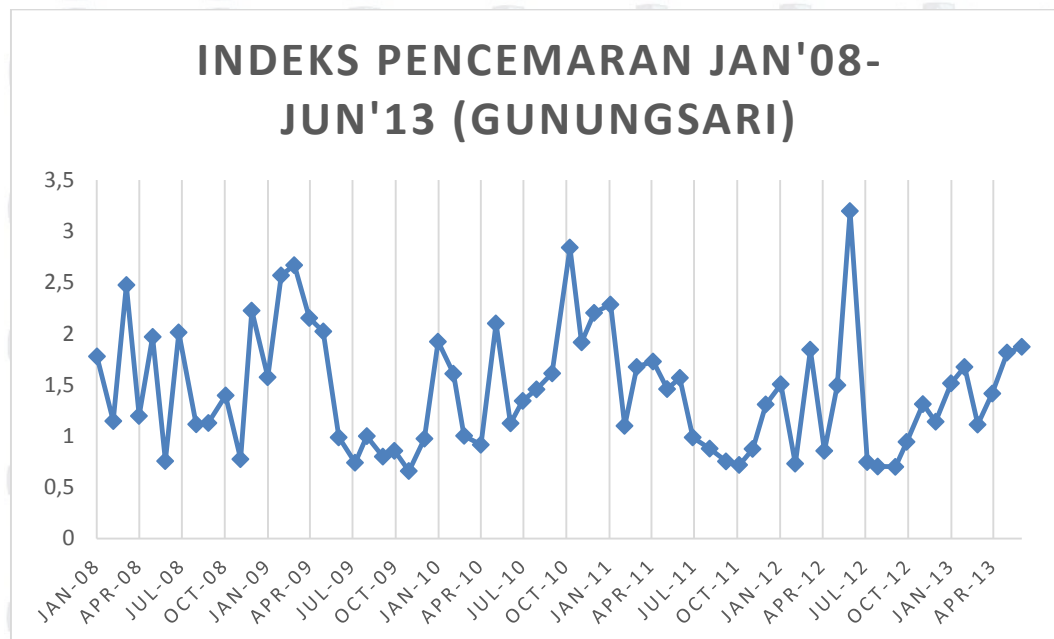
*Plot data time series* Indeks Pencemaran (IP) Kali Surabaya titik pantau Gunungsari dapat dilihat pada Gambar 4.11 berikut. Sedangkan data *time series*



keseluruhan Indeks Pencemaran (IP) Kali Surabaya titik pantau Gunungsari dapat dilihat pada Lampiran 2. *Descriptive statistics* juga dilakukan pada data *time series* Indeks Pencemaran (IP) Kali Surabaya titik pantau Gunungsari untuk mengetahui gambaran awal mengenai data *time series* tersebut. *Descriptive statistics* dari data tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8 *Descriptive statistics* Indeks Pencemaran Kali Surabaya TP. Gunungsari

Descriptive Statistics: IP Gunungsari				
Variable	Mean	StDev	Minimum	Maximum
IP	1.4381	0.5976	0.6579	3.1961



Gambar 4.11 Indeks Pencemaran Kali Surabaya TP. Bendungan Gunungsari

Berdasarkan *plot data time series* dan *Descriptive statistics* indeks pencemaran Kali Surabaya titik pantau Gunungsari pada Gambar 4.11 dan Tabel 4.8, dapat dijelaskan bahwa tingkat keberagaman nilai indeks pencemaran Kali Surabaya titik pantau Gunungsari kecil. Tingkat keberagaman tersebut terlihat dari kecilnya nilai standar deviasi data tersebut yaitu 0,5976. Sedangkan nilai minimum dan nilai maksimum data tersebut juga tidak memiliki rentang yang panjang yaitu

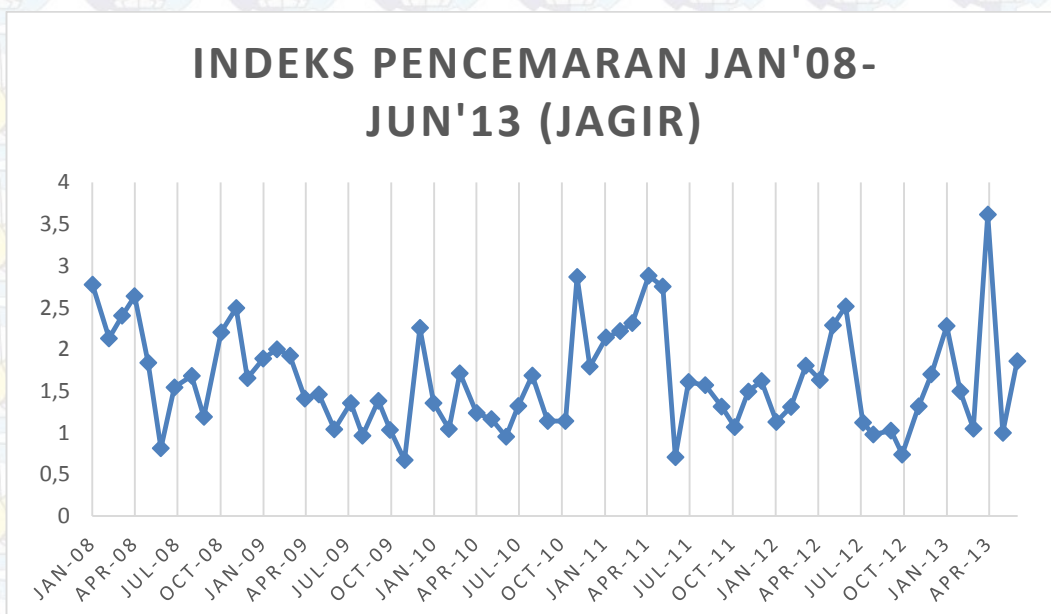
0,6579 dan 3,1961 dengan nilai *mean* sebesar 1,4381. Nilai rata – rata indeks pencemaran titik pantau Gunungsari pada Januari 2008 hingga Juni 2013 tidak memenuhi Baku Mutu Air dan dikategorikan pada kondisi tercemar ringan.

#### 4.3.3 Indeks Pencemaran Kali Surabaya Titik Pantau Jagir

*Plot data time series* Indeks Pencemaran (IP) Kali Surabaya titik pantau Jagir dapat dilihat pada Gambar 4.12 berikut. Sedangkan data *time series* keseluruhan Indeks Pencemaran (IP) Kali Surabaya titik pantau Jagir dapat dilihat pada Lampiran 2. *Descriptive statistics* juga dilakukan pada data *time series* Indeks Pencemaran (IP) Kali Surabaya titik pantau Jagir untuk mengetahui gambaran awal mengenai data *time series* tersebut. *Descriptive statistics* dari data tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.7.

Tabel 4.9 *Descriptive statistics* Indeks Pencemaran Kali Surabaya TP. Jagir

Descriptive Statistics: IP Jagir				
Variable	Mean	StDev	Minimum	Maximum
IP	1.6476	0.6254	0.6714	3.6174



Gambar 4.12 Indeks Pencemaran Kali Surabaya TP. Jagir



Berdasarkan *plot data time series* dan *Descriptive statistics* indeks pencemaran Kali Surabaya titik pantau Jagir pada Gambar 4.8 dan Tabel 4.12, dapat dijelaskan bahwa tingkat keberagaman nilai indeks pencemaran Kali Surabaya titik pantau Jagir kecil. Tingkat keberagaman tersebut terlihat dari kecilnya nilai standar deviasi data tersebut yaitu 0,6254. Sedangkan nilai minimum dan nilai maksimum data tersebut juga tidak memiliki rentang yang panjang yaitu 0,6714 dan 3,6174 dengan nilai *mean* sebesar 1,6476. Nilai rata – rata indeks pencemaran titik pantau Jagir pada Januari 2008 hingga Juni 2013 tidak memenuhi Baku Mutu Air dan dikategorikan pada kondisi tercemar ringan.

#### **4.4 Peramalan Nilai IP dengan Jaringan Syaraf Tiruan *FRBF***

Seperti yang telah dijelaskan pada subbab 2.5, konsep dasar dari model jaringan syaraf *Fuzzy Radial Basis Function (FRBF)* dalam penelitian ini adalah penerapan aplikasi teori *fuzzy* ke dalam model dasar jaringan syaraf *Radial Basis Function (RBF)*. Langkah tersebut dimaksudkan untuk dapat mengembangkan kualitas hasil estimasi dari terbatasnya data dan karakteristik data yang berbeda antar parameter kualitas air Kali Surabaya segmen Sepanjang-Jagir. Untuk menunjukkan akurasi aplikasi dalam peramalan indeks pencemaran, peramalan dilakukan dengan berbagai periode hasil peramalan, yaitu periode 6 bulan, 1 tahun, 1 tahun 6 bulan, 2 tahun, dan 2 tahun 6 bulan. Selain itu, penggunaan berbagai learning rate dan periode hasil peramalan juga dilakukan untuk mengetahui learning rate dan periode hasil peramalan yang memiliki hasil terbaik yaitu dengan nilai MSE terkecil. Peramalan indeks pencemaran didahului dengan membagi dua data keseluruhan pada masing – masing titik pantau, yang berjumlah 66 series, ke dalam data *training* dan data *testing*. Pembagian data ke dalam data *training* dan data *testing* untuk setiap periode hasil peramalan terlihat pada Tabel 4.10 berikut.



Tabel 4.10 Pembagian Data Sesuai Periode Hasil Peramalan

Periode		<i>Training</i>	<i>Testing / Validasi</i>	Peramalan
6 bulan	Data	Jan'08 – Des'12	Jan'13 – Jun'13	Jun'13 – Des'13
	Banyaknya	60 <i>series</i>	6 <i>series</i>	6 <i>series</i>
1 tahun	Data	Jan'08 – Jun'12	Jul'13 – Jun'13	Jul'13 – Jun'14
	Banyaknya	54 <i>series</i>	12 <i>series</i>	12 <i>series</i>
1 tahun	Data	Jan'08 – Des'11	Jan'12 – Jun'13	Jul'13 – Des'14
6 bulan	Banyaknya	48 <i>series</i>	18 <i>series</i>	18 <i>series</i>

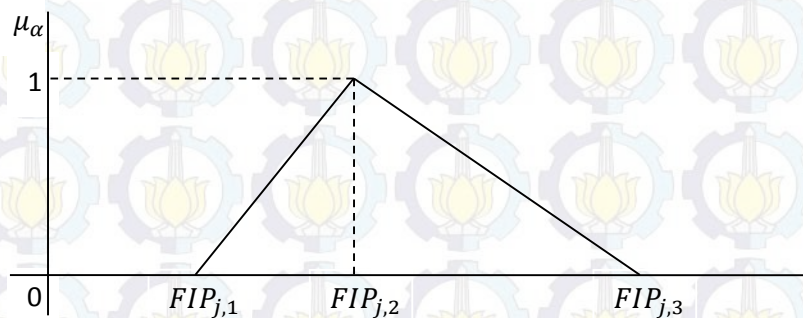
#### 4.4.1 *Training Aplikasi Jaringan Syaraf FRBF dalam Peramalan IP*

Proses *training* adalah proses pelatihan data *input* untuk mendapatkan nilai bobot dan karakteristik data *input* (Fausset, 1995). Proses *training* dalam jaringan syaraf *Fuzzy Radial Basis Function (FRBF)* dapat dibagi menjadi dua tahap, yaitu *unsupervised training* dan *supervised training*. Tahap *unsupervised training* mulai dilakukan dengan fuzzifikasi nilai indeks pencemaran pada *hidden layer*, penentuan jarak antara *neuron input* dan *neuron center*, defuzzifikasi jarak pada *hidden layer*, penentuan *neuron centre* terpilih, *update hidden layer* hingga *update learning rate*. Tahap *unsupervised training* tersebut merupakan penerapan *fuzzy self-organizing mapping* dalam jaringan syaraf *FRBF*.

##### 1) Fuzzifikasi Nilai Indeks Pencemaran pada *Hidden layer*

Langkah pertama dalam algoritma jaringan syaraf *FRBF* adalah fuzzifikasi data *training* sehingga *neuron center* bersifat *fuzzy* dalam *hidden layer* pada *FRBF*. Dalam penelitian ini, *neuron center* yang terinisialisasi menjadi bersifat *fuzzy* disimbolkan  $\tilde{C}$ . Berdasarkan penelitian Lalla (2004) yang menyimpulkan bahwa himpunan *fuzzy* adalah metode yang fleksibel dalam mendapatkan nilai numerik dari variabel ordinal, dan dengan dasar pertimbangan adanya kesalahan paralaks dalam pengukuran nilai parameter, fuzzifikasi indeks pencemaran dilakukan dengan memperhatikan bilangan bulat di sekitar nilai indeks pencemaran untuk setiap *series*.

Representasi fungsi keanggotaan yang digunakan dalam penelitian ini adalah representasi kurva segitiga. Representasi kurva segitiga merupakan bentuk bilangan *fuzzy* yang sederhana karena mampu mencakup persekitaran suatu bilangan *crisp* dengan memperhatikan *lower bound* dan *upper bound* dari bilangan tersebut. Bilangan bulat terbesar yang kurang dari nilai indeks pencemaran  $[IP_j]$  pada waktu tersebut digunakan sebagai *lower bound* untuk setiap nilai indeks pencemaran. Sedangkan bilangan bulat terkecil yang lebih dari nilai indeks pencemaran  $[IP_j]$  pada waktu tersebut digunakan sebagai *upper bound* untuk setiap nilai indeks pencemaran. Dengan memperhatikan *lower bound* ( $FIP_{j,1}$ ) dan *upper bound* ( $FIP_{j,3}$ ) untuk setiap nilai indeks pencemaran ( $FIP_{j,2}$ ) terbentuk bilangan *fuzzy* untuk masing-masing nilai indeks pencemaran. Sedangkan representasi *fuzzy* triangular number untuk setiap indeks pencemaran terlihat pada kurva segitiga dalam Gambar 4.13.



Gambar 4.13 Representasi kurva segitiga nilai IP

dengan:

$FIP_{j,1} = \text{lower bound} = [IP_j] = \text{bilangan bulat terbesar yang kurang dari } IP_j$

$FIP_{j,2} = \text{medium} = IP_j = \text{nilai } IP_j \text{ pada series tersebut}$

$FIP_{j,3} = \text{upper bound} = [IP_j] = \text{bilangan bulat terkecil yang lebih dari } IP_j$

Hasil perhitungan indeks pencemaran Kali Surabaya untuk titik pantau Sepanjang, Gunungsari, dan Jagir untuk bulan Januari 2008 hingga Juni 2013 masing – masing memiliki nilai diantara 0 dan 4. Oleh karena itu, dapat ditentukan skala fuzzifikasi berdasarkan representasi fungsi keanggotaan diatas untuk masing – masing indeks pencemaran yang terlihat pada Tabel 4.11.



Tabel 4.11 Skala Fuzzifikasi Nilai Indeks Pencemaran

$IP_j$	$FIP_j$		
	$FIP_{j,1}$	$FIP_{j,2}$	$FIP_{j,3}$
$\lfloor IP_j \rfloor \leq IP_j \leq \lceil IP_j \rceil$	$\lfloor IP_j \rfloor$	$IP_j$	$\lceil IP_j \rceil$
$0 \leq IP_j \leq 1$	0	$IP_j$	1
$1 \leq IP_j \leq 2$	1	$IP_j$	2
$2 \leq IP_j \leq 3$	2	$IP_j$	3
$3 \leq IP_j \leq 4$	3	$IP_j$	4

Skala fuzzifikasi tersebut digunakan untuk mentransformasi bilangan *crisp* indeks pencemaran Kali Surabaya segmen Sepanjang – Jagir periode Januari 2008 hingga Juni 2013 kedalam bilangan fuzzy. Indeks pencemaran yang telah difuzzifikasi digunakan sebagai center yang telah terinisialisasi yang disimbolkan dengan  $\tilde{C}$ . Selain itu indeks pencemaran yang telah difuzzifikasi tersebut digunakan sebagai vektor fuzzy yang diinputkan ke dalam jaringan syaraf FRBF. Sehingga indeks pencemaran yang digunakan sebagai matriks  $X$  maupun  $C$  yang bernilai sama dan semula berukuran  $length(X) \times 1$  dan  $length(C) \times 1$ , maka bertransformasi menjadi matriks berukuran  $length(X) \times 3$  yang disimbolkan dengan  $\tilde{X}$  dan  $length(C) \times 3$  yang disimbolkan dengan  $\tilde{C}$  seperti yang terlihat pada persamaan berikut.

$$X = \begin{bmatrix} 2,6549 \\ 1,1887 \\ 2,9463 \\ 1,4158 \\ 2,3999 \\ \vdots \\ 1,7829 \end{bmatrix} \rightarrow \tilde{X} = \begin{bmatrix} (2; 2,6549; 3) \\ (1; 1,1887; 2) \\ (2; 2,9463; 3) \\ (1; 1,4158; 2) \\ (2; 2,3999; 3) \\ \vdots \\ (1; 1,7829; 2) \end{bmatrix} = \tilde{C}.$$

Berdasarkan definisi *Triangular Fuzzy Number* oleh Veerabhathiran, dkk (2012) tentang penotasian *Triangular Fuzzy Number (TFN)* yang dinotasikan dengan tiga point seperti  $A = (a_1, a_2, a_3)$  dan diinterpretasikan sesuai fungsi keanggotaan. Oleh karena itu, bilangan fuzzy dituliskan dengan  $(a_1, a_2, a_3)$  dengan  $a_1$  merupakan *lower bound*  $\lfloor IP_j \rfloor$ ,  $a_2$  merupakan *medium* yang berupa bilangan



tersebut dan  $a_3$  merupakan *upper bound*  $[IP_j]$  seperti yang terlihat pada persamaan dan juga digunakan pada persamaan berikutnya. Fuzzifikasi tersebut dapat dilakukan dengan manual, Microsoft Excel, dan MATLAB 2013a. Tabel 4.12 adalah *source code* MATLAB 2013a yang digunakan untuk memfuzzifikasi data *time series* indeks pencemaran untuk masing – masing titik pantau pada Kali Surabaya segmen Sepanjang – Jagir.

*Source Code* pada tabel 4.12 dijalankan pada software MATLAB 2013a dengan data *time series* IP sebagai *input* yang disimbolkan sebagai variabel *ip* dan menghasilkan variabel *fip* yang merupakan data *time series* IP setelah fuzzifikasi. Sedangkan *i* merupakan urutan series indeks pencemaran tersebut dan *fip(i,1)*, *fip(i,2)*, dan *fip(i,3)* merupakan simbol dari lower, medium, dan upper dari bilangan fuzzy pada series *i*. Hasil fuzzifikasi keseluruhan indeks pencemaran *time series* untuk masing – masing titik pantau dapat dilihat pada tiga kolom terakhir dalam Lampiran 2.

Tabel 4.12 *Fuzzification Source Code*

```

1  for i=1:length(ip)
2      if ip(i)< 1
3          fip(i,1)=0;
4          fip(i,2)=ip(i);
5          fip(i,3)=1;
6      elseif ip(i) < 2
7          fip(i,1)=1;
8          fip(i,2)=ip(i);
9          fip(i,3)=2;
10     elseif ip(i) < 3
11         fip(i,1)=2;
12         fip(i,2)=ip(i);
13         fip(i,3)=3;
14     else
15         fip(i,1)=3;
16         fip(i,2)=ip(i);
17         fip(i,3)=4;
18     end
19 end

```

## 2) Penentuan Jarak antara *Neuron Input* dan *Neuron Center*

Bilangan *fuzzy* untuk setiap nilai indeks pencemaran digunakan sebagai *input* dalam penentuan jarak antara masing-masing *neuron* pada *input* layer dengan masing-masing *neuron* pada *hidden layer*. Penentuan jarak tersebut

direpresentasikan oleh *fuzzy  $\alpha$ -cut interval* pada *neuron* ke- $i$  dari *input layer* dan *neuron* ke- $j$  pada *hidden layer* yang disimbolkan dengan  $\tilde{d}[\alpha](t)$ .

$$\begin{aligned}\tilde{d}[\alpha](t) &= \left\| \vec{\tilde{X}}_j[\alpha](t) \Theta \vec{\tilde{C}}_i[\alpha](t) \right\| \\ &= \sum_{i=0}^{n-1} \left[ \left( \vec{\tilde{X}}_j[\alpha](t) \Theta \vec{\tilde{C}}_i[\alpha](t) \right)^2 \right], j = 1, \dots, m\end{aligned}\quad (4.1)$$

Persamaan (4.1) dilakukan dengan mencari norm dari seluruh *neuron input* yang mempunyai panjang  $j$  yaitu jumlah data *training* dan seluruh *neuron center* yang mempunyai panjang  $i$  yaitu jumlah data *training*. Perhitungan nilai norm diawali dengan membuat matriks berukuran  $length(X) \times length(C)$  yang merepresentasikan *fuzzy  $\alpha$ -cut interval* pada *neuron input* ( $X$ ) ke- $i$  dan *neuron center* ( $C$ ) ke- $j$  sebagai berikut.

$$\begin{aligned}& \left[ \vec{\tilde{X}}_j[\alpha](t) \Theta \vec{\tilde{C}}_i[\alpha](t) \right] \\ &= \begin{bmatrix} \vec{\tilde{X}}_1[\alpha](t) \Theta \vec{\tilde{C}}_1[\alpha](t) & \vec{\tilde{X}}_1[\alpha](t) \Theta \vec{\tilde{C}}_2[\alpha](t) & \dots & \vec{\tilde{X}}_1[\alpha](t) \Theta \vec{\tilde{C}}_n[\alpha](t) \\ \vec{\tilde{X}}_2[\alpha](t) \Theta \vec{\tilde{C}}_1[\alpha](t) & \vec{\tilde{X}}_2[\alpha](t) \Theta \vec{\tilde{C}}_2[\alpha](t) & \dots & \vec{\tilde{X}}_2[\alpha](t) \Theta \vec{\tilde{C}}_n[\alpha](t) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \vec{\tilde{X}}_n[\alpha](t) \Theta \vec{\tilde{C}}_1[\alpha](t) & \vec{\tilde{X}}_n[\alpha](t) \Theta \vec{\tilde{C}}_2[\alpha](t) & \dots & \vec{\tilde{X}}_n[\alpha](t) \Theta \vec{\tilde{C}}_n[\alpha](t) \end{bmatrix}\end{aligned}\quad (4.2)$$

Dengan mengoperasikan persamaan (4.2) pada data *training* sebanyak 60 series indeks pencemaran Kali Surabaya titik pantau Sepanjang (untuk periode hasil peramalan 1 tahun) sebagai *input* serta center didapatkan matriks  $\vec{\tilde{X}}_j[\alpha](t) \Theta \vec{\tilde{C}}_i[\alpha](t)$  sebagai berikut.

$$\begin{aligned}& \left[ \vec{\tilde{X}}_j[\alpha](t) \Theta \vec{\tilde{C}}_i[\alpha](t) \right] \\ &= \begin{bmatrix} (0; 0; 0) & (-1; -1,4661; -1) & \dots & (-1; -0,9648; -1) \\ (1; 1,4661; 1) & (0; 0; 0) & \dots & (0; 0,5014; 0) \\ (0; -0,2914; 0) & (-1; -1,7576; -1) & \dots & (-1; -1,2562; -1) \\ (1; 0,7130; 1) & (0; -0,7531; 0) & \dots & (0; -0,2517; 0) \\ (0; 0,2549; 0) & (-1; -1,2112; -1) & \dots & (-1; -0,7098; -1) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ (1; 0,7097; 1) & (0; -0,7565; 0) & \dots & (0; 0; 0) \end{bmatrix}\end{aligned}$$



Nilai norm adalah jumlah baris dari kuadrat selisih dua vektor sehingga setelah didapatkan matriks yang berisi selisih dari vektor  $\vec{X}_j[\alpha](t)$  dan vektor  $\vec{C}_j[\alpha](t)$  dilanjutkan dengan mengkuadratkan masing – masing elemen dalam matriks tersebut

$$\left[ \left( \vec{X}_j[\alpha](t) \ominus \vec{C}_i[\alpha](t) \right)^2 \right] = \begin{bmatrix} \left( \vec{X}_1[\alpha](t) \ominus \vec{C}_1[\alpha](t) \right)^2 & \left( \vec{X}_1[\alpha](t) \ominus \vec{C}_2[\alpha](t) \right)^2 & \dots & \left( \vec{X}_1[\alpha](t) \ominus \vec{C}_n[\alpha](t) \right)^2 \\ \left( \vec{X}_2[\alpha](t) \ominus \vec{C}_1[\alpha](t) \right)^2 & \left( \vec{X}_2[\alpha](t) \ominus \vec{C}_2[\alpha](t) \right)^2 & \dots & \left( \vec{X}_2[\alpha](t) \ominus \vec{C}_n[\alpha](t) \right)^2 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \left( \vec{X}_n[\alpha](t) \ominus \vec{C}_1[\alpha](t) \right)^2 & \left( \vec{X}_n[\alpha](t) \ominus \vec{C}_2[\alpha](t) \right)^2 & \dots & \left( \vec{X}_n[\alpha](t) \ominus \vec{C}_n[\alpha](t) \right)^2 \end{bmatrix} \quad (4.3)$$

Hasil operasi persamaan (4.3) pada data *training* sebanyak 60 series indeks pencemaran Kali Surabaya titik pantau Sepanjang (untuk periode hasil peramalan

1 tahun) sebagai *input* serta center didapatkan matriks  $\left[ \left( \vec{X}_j[\alpha](t) \ominus \vec{C}_i[\alpha](t) \right)^2 \right]$ .

$$\left[ \left( \vec{X}_j[\alpha](t) \ominus \vec{C}_i[\alpha](t) \right)^2 \right] = \begin{bmatrix} (0; 0; 0) & (1; 2,1495; 1) & \dots & (1; 0,9308; 1) \\ (1; 2,1495; 1) & (0; 0; 0) & \dots & (0; 0,2514; 0) \\ (0; 0,0849; 0) & (1; 3,0891; 1) & \dots & (1; 1,5781; 1) \\ (1; 0,5084; 1) & (0; 0,5672; 0) & \dots & (0; 0,0634; 0) \\ (0; 0,0650; 0) & (1; 1,4670; 1) & \dots & (1; 0,5039; 1) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ (1; 0,5036; 1) & (0; -0,5722; 0) & \dots & (0; 0; 0) \end{bmatrix}$$

Selanjutnya perhitungan nilai norm dari vektor  $\vec{X}_j[\alpha](t)$  dan vektor  $\vec{C}_j[\alpha](t)$  dilakukan dengan melakukan penjumlahan elemen – elemen matriks

$\left[ \left( \vec{X}_j[\alpha](t) \ominus \vec{C}_i[\alpha](t) \right)^2 \right]$  yang sebaris dengan aturan operasi penjumlahan bilangan fuzzy sehingga didapatkan persamaan (4.4).

$$\tilde{d}[\alpha](t) = \sum_{i=0}^{n-1} \left[ \left( \vec{X}_j[\alpha](t) \Theta \vec{C}_i[\alpha](t) \right)^2 \right] = \begin{bmatrix} (87; 85,8640; 87) \\ (37; 37,4086; 37) \\ (87; 126,2309; 87) \\ (37; 30,0791; 37) \\ (87; 58,9111; 87) \\ \vdots \\ (37; 30,1994; 37) \end{bmatrix} \quad (4.4)$$

Persamaan (4.4) merupakan matriks berukuran  $j \times 1$  dengan  $j$  sebanyak jumlah data *training*. Berikut adalah *source code* yang digunakan untuk penentuan jarak antara *neuron input* dan *neuron center* dengan menggunakan software MATLAB 2013a.

Tabel 4.13 *Source Code* Penentuan Jarak

1	t=length(X);
2	s=length(C);
3	for i=1:t
4	for j=1:s
5	fxc1(i,j)=(X(j,1)-C(i,1))^2;
6	fxc2(i,j)=(X(j,2)-C(i,2))^2;
7	fxc3(i,j)=(X(j,3)-C(i,3))^2;
8	end
9	sumfxc1(i)=(sum(fxc1(i,:)));
10	sumfxc2(i)=(sum(fxc2(i,:)));
11	sumfxc3(i)=(sum(fxc3(i,:)));
12	end

Variabel fxc1, fxc2, fxc3 merupakan variabel yang berisi matriks jarak antara  $X$  dan  $C$  yang telah dikuadratkan yaitu  $\left[ \left( \vec{X}_j[\alpha](t) \Theta \vec{C}_i[\alpha](t) \right)^2 \right]$ .

Sedangkan sumfxc1, sumfxc2, dan sumfxc3 merupakan jumlah  $\left[ \left( \vec{X}_j[\alpha](t) \Theta \vec{C}_i[\alpha](t) \right)^2 \right]$  dalam setiap baris yaitu  $\sum_{i=0}^{n-1} \left[ \left( \vec{X}_j[\alpha](t) \Theta \vec{C}_i[\alpha](t) \right)^2 \right]$ .

### 3) Defuzzifikasi Jarak pada *Hidden layer*

Masing – masing jarak dalam setiap baris pada  $\tilde{d}[\alpha](t)$  tersebut kemudian didefuzzifikasi menggunakan metode COG (*Center Of Gravity*). Metode COG pada dasarnya adalah metode pencarian titik berat untuk suatu representasi kurva segitiga untuk bilangan *fuzzy* dengan persamaan (4.5).



$$\tilde{d}[\alpha](t) = \sqrt{\frac{\sum_i \tilde{d}[\alpha](t) * \mu_{\tilde{A}}(\tilde{d}[\alpha](t))}{\sum_i \mu_{\tilde{A}}(\tilde{d}[\alpha](t))}} \quad (4.5)$$

Dengan menggunakan persamaan (4.5) matriks  $\tilde{d}[\alpha](t)$  yang memiliki elemen berupa bilangan *fuzzy* ( $l, m, u$ ) berubah menjadi matriks  $d[\alpha](t)$  yang memiliki elemen berupa bilangan *crisp* dengan panjang  $j$  yaitu sebanyak jumlah data *training*.

$$\tilde{d}[\alpha](t) = \begin{bmatrix} (87; 85,8640; 87) \\ (37; 37,4086; 37) \\ (87; 126,2309; 87) \\ (37; 30,0791; 37) \\ (87; 58,9111; 87) \\ \vdots \\ (37; 30,1994; 37) \end{bmatrix} \rightarrow d[\alpha](t) = \begin{bmatrix} 9,3071 \\ 6,0939 \\ 10,0038 \\ 5,8901 \\ 8,8112 \\ \vdots \\ 5,8935 \end{bmatrix}$$

*Source code* pada Tabel 4.14 adalah *source code* MATLAB 2013a yang digunakan untuk defuzzifikasi jarak pada *hidden layer*. Pada Tabel 4.14 matriks  $d[\alpha](t)$  disimbolkan dengan  $H(j)$  untuk elemen setiap barisnya yang berjalan dengan  $j$  bernilai 1 hingga  $t$  yang merupakan jumlah data *training*.

Tabel 4.14 *Source Code* Defuzzifikasi

1	<code>for j=1:t</code>
2	<code>H(j)=sqrt((sumfxc1(j)+sumfxc2(j)+sumfxc3(j))/3);</code>
3	<code>End</code>

#### 4) Penentuan Centre *Neuron* Terpilih dan Update *Hidden layer*

Matriks  $d[\alpha](t)$  berukuran  $j \times 1$  dengan elemen setiap baris disebut  $d_j[\alpha](t)$ . Untuk  $d_j[\alpha](t)$  dengan  $j$  bernilai 1 hingga  $t$  yaitu jumlah data *training* dipilih salah satu jarak dengan nilai minimum sebagai *neuron* terpilih (center) pada *hidden layer* untuk diupdate. Penentuan center *neuron* terpilih menggunakan persamaan (4.6).

$$d^*[\alpha](t) = \min_j \{d_j[\alpha](t)\} \quad (4.6)$$

Sebagai contoh didapatkan *neuron* center terpilih sebesar 5,8898 untuk iterasi pertama untuk indeks pencemaran Kali Surabaya titik pantau Sepanjang seperti yang terlihat pada persamaan (4.7).

$$d^*[\alpha](t) = \min_j \begin{pmatrix} 9,3071 \\ 6,0939 \\ 10,0038 \\ 5,8901 \\ 8,8112 \\ \vdots \\ 5,8935 \end{pmatrix} = 5,8898 \quad (4.7)$$

Sedangkan update *hidden layer* menggunakan persamaan berikut.

$$\tilde{C}_{ij}^*[\alpha](t+1) = \tilde{C}_{ij}^*[\alpha](t) \oplus \eta_1(t) \left( \tilde{X}_{ij}^*[\alpha](t) \ominus \tilde{C}_{ij}^*[\alpha](t) \right)$$

Nilai center yang memiliki nilai jarak minimum  $d_j^*[\alpha](t)$  (untuk data *training* indeks pencemaran Kali Surabaya titik pantau Sepanjang dengan periode hasil peramalan 1 tahun) diperbarui dengan menambahkan nilai learning rate ( $\eta_1(t)$ ) yang dikalikan dengan nilai jarak minimum  $d_j^*[\alpha](t)$ . Nilai learning awal ditetapkan sebesar 0,001 dan disimbolkan sebagai `nr_old` dalam *source code* pada Tabel 4.15. Sedangkan nilai *neuron* center terpilih  $d_j^*[\alpha](t)$  disimbolkan sebagai `ddjw` dalam *source code* pada Tabel 4.15.

Tabel 4.15 *Source Code* Penentuan Centre Neuron Terpilih dan Update *Hidden layer*

```
%step5. find out the winner
ddjw=min(H);
%step6. update values of ddjw
nr_old=0.01;
for n=1:length(H)
if H(n)==ddjw
C(n,2)=C(n,2)+(nr_old*ddjw);
if C(n,2) < 1
C(n,1)=0;
C(n,2)=C(n,2);
C(n,3)=1;
elseif C(n,2) < 2
C(n,1)=1;
C(n,2)=C(n,2);
C(n,3)=2;
elseif C(n,2) < 3
C(n,1)=2;
C(n,2)=C(n,2);
C(n,3)=3;
else
C(n,1)=3;
C(n,2)=C(n,2);
C(n,3)=4;
end
end
end
```



5) *Update Learning rate*

*Update learning rate* dilakukan dengan mengurangi nilai *learning rate* dan mengulang langkah 2 - 4 hingga jumlah putaran learning mencapai nilai yang telah ditentukan.

$$\eta_1(t+1) = \eta_1(t) \cdot \eta_{rate}(t)$$

dengan  $\eta_{rate}(t)$  adalah *reduction rate* dari *learning rate* pada waktu  $t$ .

Source code pada Tabel 4.16 adalah *source code* MATLAB 2013a yang digunakan untuk update *learning rate*. Reduction rate dalam *source code* pada Tabel 4.16 disimbolkan dengan `nrate` yang ditetapkan sebesar 0,5 dan `nr_new` digunakan sebagai *learning rate* baru yang digunakan untuk iterasi selanjutnya.

Tabel 4.16 *Source Code Update Learning rate*

1	<code>nrate=0.5;</code>
2	<code>nr_new=nr_old*nrate;</code>
3	<code>nr_old=nr_new;</code>

Nilai *learning rate* yang digunakan untuk mengupdate *hidden layer* terupdate semakin mendekati nol dengan perkalian dengan *reduction rate* hingga mencapai *learning cycles*. Pada implementasi ini, nilai *learning rate* awal yang ditentukan adalah 0,01 sedangkan nilai *reduction rate* yaitu 0,5 dan *learning cycles* hingga 1000. Selanjutnya tahap *supervised training* yang merupakan tahap penentuan *output* dengan fungsi aktivasi pada jaringan syaraf *Radial Basis Function* dilakukan dengan menggunakan jarak terpilih yang telah dilakukan defuzzifikasi dan diupdate untuk menghitung *output* pada *neuron hidden* dan *neuron output*.

1) *Perhitungan Nilai Output Pada Neuron Hidden*

Perhitungan nilai *output* pada *neuron hidden* dilakukan dengan fungsi aktivasi yaitu *Radial Basis Function*. Fungsi tersebut didapatkan dari eksponensial kuadrat jarak antara *neuron input* dan *neuron center* yang setiap elemennya dibagi dengan dua kali kuadrat standar deviasi *input* dan dikalikan dengan  $(-1)$  seperti yang terlihat pada persamaan (4.8).

$$y_j(t) = \exp\left(\frac{-d_j^2(t)}{2\sigma_j^2}\right) \quad (4.8)$$

dengan  $-d_j^2(t)$  adalah elemen pada baris ke- $j$  dalam  $-d^2(t)$

$$d(t) = \begin{bmatrix} 9,3071 \\ 6,0939 \\ 10,0038 \\ 5,8901 \\ 8,8112 \\ \vdots \\ 5,8935 \end{bmatrix} \rightarrow -d^2(t) = - \begin{bmatrix} 86,6213 \\ 37,1362 \\ 100,0770 \\ 34,6930 \\ 77,6370 \\ \vdots \\ 34,7331 \end{bmatrix}$$

dan  $2\sigma_j^2$  bernilai sama untuk setiap  $j$  dengan nilai standar deviasi untuk indeks pencemaran Kali Surabaya titik pantau Sepanjang yang telah difuzzifikasi yaitu

$$\sigma_j = 2,238 \rightarrow 2\sigma_j^2 = 9,8902$$

sehingga didapatkan nilai *output* pada *hidden layer* untuk indeks pencemaran Kali Surabaya titik pantau Sepanjang adalah sebagai berikut.

$$y(t) = \exp \begin{bmatrix} -8,7583 \\ -3,7549 \\ -10,1188 \\ -3,5078 \\ -7,8499 \\ \vdots \\ -3,5119 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,0002 \\ 0,0234 \\ 0,0000 \\ 0,0300 \\ 0,0004 \\ \vdots \\ 0,0298 \end{bmatrix}$$

Sedangkan pada Tabel 4.17 berikut adalah *source code* yang digunakan untuk menghitung nilai *output* pada *neuron hidden* dalam aplikasi jaringan syaraf FRBF peramalan IP Kali Surabaya. Standart deviasi dari *neuron hidden* ke- $j$  yaitu  $\sigma_j$  disimbolkan dengan `fstddev`, jarak Euclidean antara vektor *input* dan pusat ke- $j$  yaitu  $d_j$  disimbolkan dengan `H` dan nilai *output* pada *neuron hidden* yang berukuran  $j \times 1$  disimbolkan dengan `y` dengan `ycb` sebagai variabel sementara sebelum dilakukan eksponensial pada *source code* dalam Tabel 4.17.

Tabel 4.17 *Source Code* Perhitungan *Output* pada *Neuron Hidden*

1	<code>% step1FRBF. menghitung nilai output pd neuron hidden</code>
2	<code>fstddev=sum(std(fip));</code>
3	<code>ycb=(- (H.^2) / (2*(fstddev^2)));</code>
4	<code>y=exp(ycb);</code>



## 2) Perhitungan Nilai *Output* Pada *Neuron Output*

Perhitungan nilai *output* pada *neuron output* didapatkan dari perkalian nilai *output* pada *neuron hidden*  $y(t)$  dengan bobot *connection*  $w_{kj}(t)$  dan disimbolkan dengan  $o_k(t)$  pada persamaan (4.8).

$$o_k(t) = \sum_{j=1}^m y_j(t) \times w_{kj}(t) \quad (4.8)$$

$$y(t) = \begin{bmatrix} 0,0002 \\ 0,0234 \\ 0,0000 \\ 0,0300 \\ 0,0004 \\ \vdots \\ 0,0298 \end{bmatrix}; w(t) = \begin{bmatrix} 0,5066 & 0,2321 & \dots & 0,8371 \\ 0,7169 & 0,7982 & \dots & 0,5703 \\ 0,3012 & 0,2378 & \dots & 0,7831 \\ 0,7060 & 0,5733 & \dots & 0,4757 \\ 0,9152 & 0,6194 & \dots & 0,7777 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0,5708 & 0,9219 & \dots & 0,0372 \end{bmatrix}$$

Matriks  $y_j(t)$  berukuran  $(j \times 1)$  dengan  $j$  merupakan panjang data *training* sedangkan Matriks  $w_{kj}(t)$  merupakan matriks dengan nilai bangkitan secara random yang berukuran  $(j \times k)$  dengan  $k$  panjang data yang digunakan sebagai data *testing*. *Transpose* dari matriks  $y_j(t)$  kemudian dikalikan dengan matriks  $w_{kj}(t)$  sehingga didapatkan matriks  $o_k(t)$  yang berukuran  $(1 \times k)$  yang merupakan *output* pada *neuron output* dan disimbolkan sebagai *obs* dalam *source code* pada Tabel 4.18. *Source code* pada Tabel 4.18 adalah *source code* yang digunakan untuk perhitungan nilai *output* pada *neuron output* dalam aplikasi jaringan syaraf FRBF peramalan IP Kali Surabaya.

Tabel 4.18 *Source Code* Perhitungan *Output* pada *Neuron Output*

1	% step2FRBF. menghitung nilai output pd neuron output
2	w=xlsread('W1.xlsx','A3:L56');
3	learningrate= input('Learning rate:')
4	for epoch=1:5000
5	obs=y*w;

## 4.4.2 *Testing* Aplikasi Jaringan Syaraf FRBF dalam Peramalan IP

Proses *testing* merupakan proses perbandingan data aktual dengan hasil *training* berdasarkan nilai error antar keduanya. Data aktual yang digunakan pada proses *testing* adalah nilai indeks pencemaran pada series yang disediakan sebagai

data *testing*. Langkah-langkah tersebut diulang hingga mencapai error minimum yang telah ditentukan yaitu perhitungan nilai error antara data aktual dan hasil dan update bobot *connection*.

1) Perhitungan Nilai Error Antara Data Aktual Dan Hasil

$$E_k(t) = d_k(t) - o_k(t)$$

Nilai  $d_k$  adalah nilai aktual yang digunakan sebagai *testing*. Pada implementasi ini data yang digunakan sebagai data *testing* adalah bermacam - macam panjangnya sesuai pada Pembagian Data Sesuai Periode Hasil Peramalan pada Tabel 4.10.

2) Update Bobot *Connection*

Update bobot *connection* antara *neuron hidden* dan *neuron output* dilakukan hingga mencapai jumlah perulangan yang telah didefinisikan atau error yang diperbolehkan dicapai.

$$w_{kj}(t + 1) = w_{kj}(t) + \eta_2 E_k(t) y_j(t)$$

Pada implementasi ini, bobot *connection* diupdate hingga mencapai MSE yang telah didefinisikan sebesar 0,0001 dengan *learning rate* ( $\eta_2$ ) terbaik. Nilai *learning rate* yang terpilih adalah nilai learning yang menghasilkan nilai MSE terkecil. Berikut adalah *source code* yang digunakan untuk *testing* aplikasi jaringan syaraf FRBF peramalan IP Kali Surabaya.

Tabel 4.19 *Source Code* Testing Jaringan Syaraf FRBF dalam Peramalan Indeks Pencemaran

1	% step3FRBF. menghitung error
2	e=abs(y_aktual-obs');
3	mse=(sum((y_aktual-obs').^2))/12;
4	
5	% step4FRBF. perbarui bobot
6	% step5FRBF. ulangi smpe mencapai error yg diinginkan
7	if mse > 0.001
8	dw=learningrate*e*y;
9	wbaru=w'+dw;
10	w=wbaru';
11	else
12	break
13	end
14	end



*Source code* diatas digunakan sebagai *testing* program dalam peramalan indeks pencemaran Kali Surabaya segmen Sepanjang - Jagir. Jumlah series yang digunakan dalam penelitian ini untuk masing – masing titik pantau adalah 66 series. Pada implementasi ini, tingkat akurasi aplikasi jaringan syaraf *FRBF* ditunjukkan dengan membandingkan nilai *MSE* dan *epoch* untuk setiap periode hasil peramalan dan setiap *learning rate*. Jumlah data *testing* serta pembagian data sesuai periode hasil peramalan, yaitu mulai dari 6 bulan hingga 2 tahun 6 bulan, dapat dilihat pada Tabel 4.10. Sedangkan *learning rate* yang digunakan dalam program ini bervariasi pada rentang 0,1 hingga 1,0 untuk mendapatkan *goal* minimum yang ditetapkan sebesar 0,0001 dengan *epoch* maksimum sebesar 10000. Nilai *goal* didasarkan pada nilai *Mean Square Error (MSE)*. *Output* dari *testing* aplikasi jaringan syaraf *FRBF* dalam peramalan indeks pencemaran Kali Surabaya segmen Sepanjang – Jagir dengan model jaringan syaraf *Fuzzy Radial Basis Function*.

1) *Output Testing* Jaringan Syaraf *FRBF* dalam Peramalan Nilai Indeks Pencemaran Titik Pantau Sepanjang

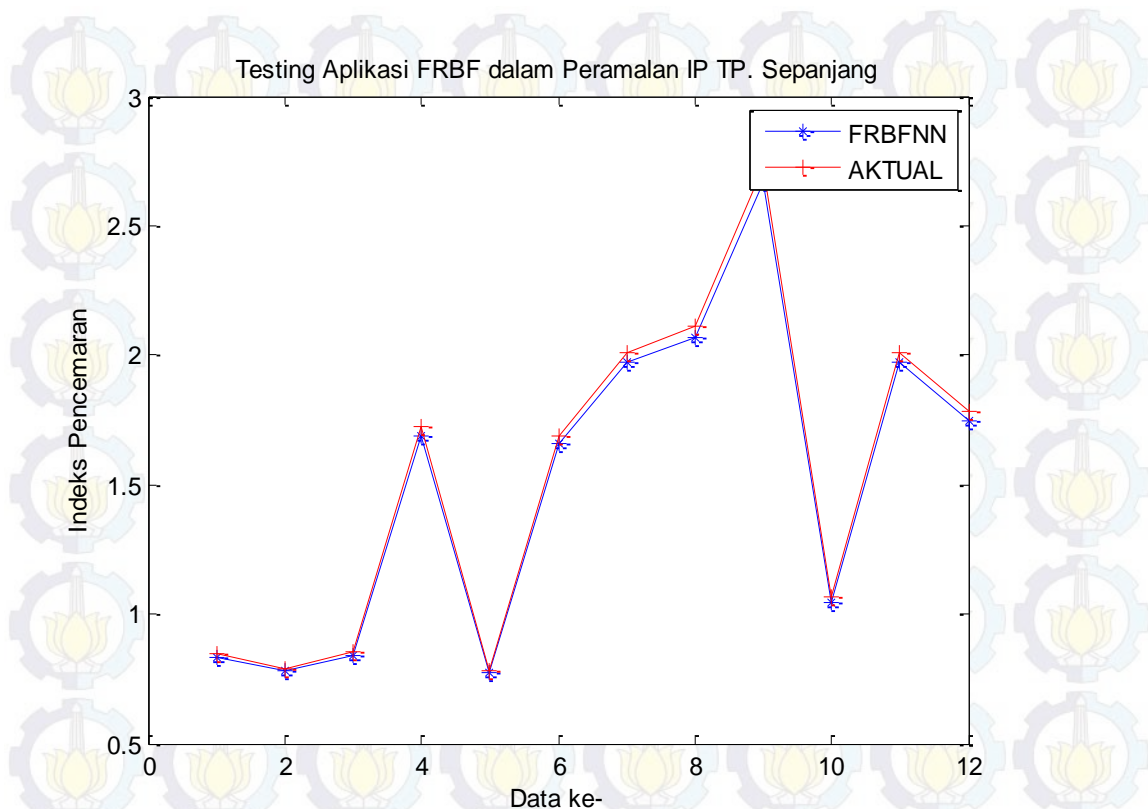
*Testing* aplikasi jaringan syaraf *Fuzzy Radial Basis Function* dalam peramalan indeks pencemaran titik pantau Sepanjang dilakukan dengan berbagai *learning rate* pada rentang 0,01, 0,03, 0,05, dan 0,07 dan periode data *testing* untuk 6 bulan, 1 tahun, dan 1 tahun 6 bulan. Pemakaian berbagai *learning rate* dan periode digunakan untuk menentukan *learning rate* dan periode terbaik yang dapat digunakan dalam peramalan indeks pencemaran Kali Surabaya titik pantau Sepanjang. Hasil *testing* yang berupa nilai *MSE* dan *epoch* dengan berbagai *learning rate* dan periode dalam peramalan indeks pencemaran menggunakan *Fuzzy Radial Basis Function* dapat dilihat pada Tabel 4.20.

Tabel 4.20 Nilai MSE dan Epoch Hasil *Testing* FRBF untuk IP TP.Sepanjang

Sepanjang		Periode Hasil Peramalan (tahun)		
<i>Learning rate</i>		0,5	1	1,5
0,01	MSE	0,2012	0.0318	0.0021
	<i>epoch</i>	5000	5000	5000
0,03	MSE	0,0012	9,9991e-04	9.9956e-04
	<i>epoch</i>	5000	3193	1874
0,05	MSE	9,9860e-04	9,9958e-04	9.9958e-04
	<i>epoch</i>	3116	1938	1135
0,07	MSE	9,9828e-04	9,9558e-04	9.9947e-04
	<i>epoch</i>	2325	1460	864

Berdasarkan Tabel 4.20 diketahui bahwa dengan *learning rate* 0,01, 0,03, 0,05, dan 0,07 dalam proses *testing* untuk periode hasil peramalan 6 bulan, 1 tahun, dan 1 tahun 6 bulan, jaringan syaraf *FRBF* mampu mendekati data aktual dengan nilai MSE kurang dari goal minimum yaitu 0,001 sebelum epoch maksimum sebesar 5000 tercapai, kecuali pada learning rate 0,01 dan 0,03 untuk periode 6 bulan. Selain itu, pada Tabel 4.20 juga terlihat bahwa nilai MSE terkecil sebesar 9.558e-05 dengan epoch terpendek sebanyak 1460 didapat dengan *learning rate* sebesar 0,05 pada periode hasil peramalan 1 tahun. Hal ini juga didukung oleh tren time series indeks pencemaran titik pantau Sepanjang yang memiliki tren yang berulang setiap tahunnya, salah satu contohnya adalah kenaikan pada awal tahun hingga pertengahan tahun. Grafik nilai peramalan in-sample indeks pencemaran titik pantau Sepanjang dengan *FRBF* dan *learning rate* 1,0 dan periode hasil peramalan 2,5 tahun dapat dilihat pada Gambar 4.10.





Gambar 4. 14 *Output Testing* Aplikasi FRBF dalam Peramalan IP TP. Sepanjang

Nilai indeks pencemaran hasil *testing* dan data aktual yang telah diplot pada Gambar 4.14 dapat dilihat pada Tabel 4.21 berikut. Pada tabel 4.21 terlihat bahwa hasil *testing* menunjukkan model jaringan syaraf *Fuzzy Radial Basis Function* memiliki hasil terbaik dalam meramalkan indeks pencemaran Kali Surabaya titik pantau Sepanjang dengan periode hasil peramalan 1 tahun dan dengan learning rate 0,07. Hal tersebut ditunjukkan dengan nilai MSE terkecil sebesar  $9.9558e-04$  dan nilai error rata-rata sebesar 0,0274 dengan *learning rate* 0,07 dalam periode hasil peramalan 1 tahun. Oleh karena itu, dengan learning rate 0,07 dan periode 1 tahun, dapat digunakan untuk peramalan indeks pencemaran satu tahun kedepan. Hasil *testing* untuk *learning rate* selain 0,07 dan periode hasil peramalan selain 1 tahun dapat dilihat pada Lampiran 4.

Tabel 4.21 *Testing* Aplikasi FRBF dalam Peramalan IP TP. Sepanjang

Bulan	Nilai Indeks Pencemaran pada -		Nilai Error
	Data Aktual	Hasil Peramalan <i>FRBF</i>	
Juli'12	0.8465	0.8355	0.0110
Agustus'12	0.7911	0.7843	0.0068
September'12	0.8517	0.8412	0.0105
Oktober'12	1.7217	1.6899	0.0318
November'12	0.7817	0.7718	0.0099
Desember'12	1.6901	1.6585	0.0316
Januari'13	2.0074	1.9706	0.0368
Februari'13	2.1141	2.0714	0.0427
Maret'13	2.7286	2.6706	0.0580
April'13	1.0640	1.0477	0.0164
Mei'13	2.0129	1.9723	0.0405
Juni'13	1.7829	1.7497	0.0332

2) *Output Testing* Jaringan Syaraf FRBF dalam Peramalan Nilai Indeks Pencemaran Titik Pantau Gunungsari

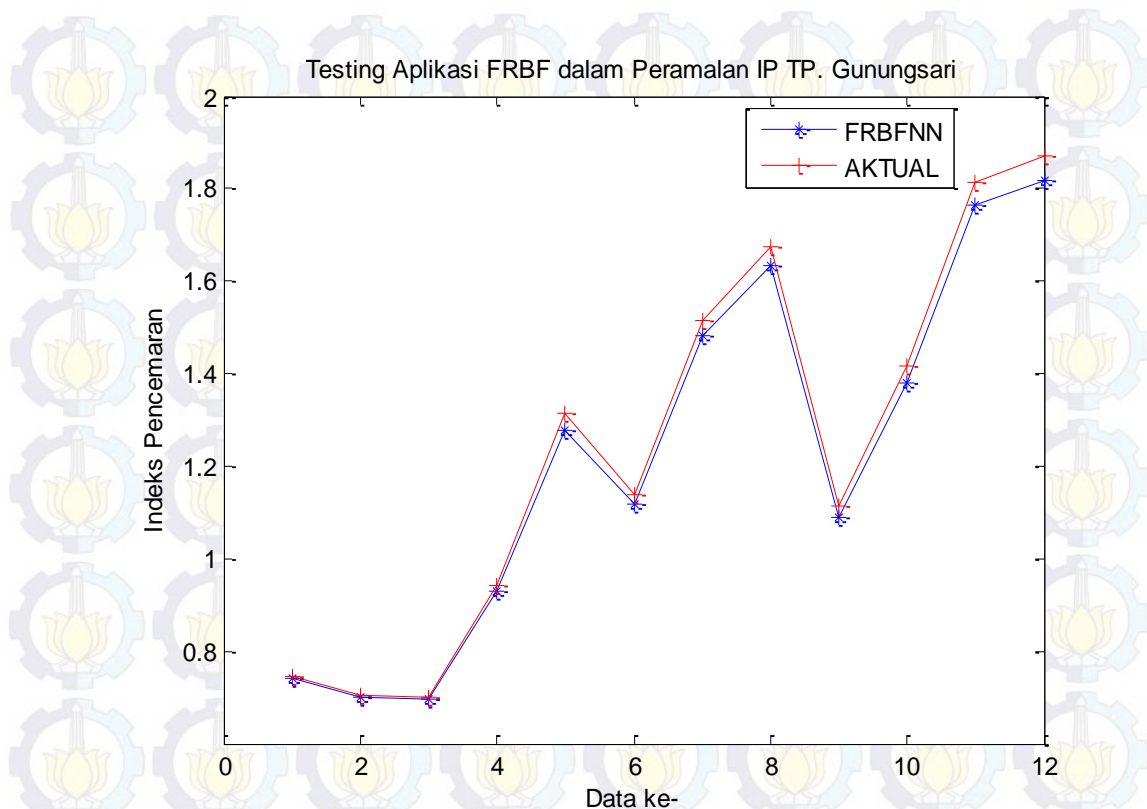
*Testing* aplikasi jaringan syaraf *Fuzzy Radial Basis Function* dalam peramalan indeks pencemaran TP. Gunungsari dilakukan dengan berbagai *learning rate* pada rentang 0,01, 0,03, 0,05, dan 0,07 dan periode data *testing* untuk 6 bulan, 1 tahun, dan 1 tahun 6 bulan untuk menentukan learning rate dan periode terbaik yang dapat digunakan dalam peramalan indeks pencemaran Kali Surabaya titik pantau Gunungsari. Hasil *testing* yang berupa nilai MSE dan *epoch* dengan berbagai *learning rate* dan periode dalam peramalan indeks pencemaran menggunakan *Fuzzy Radial Basis Function* dapat dilihat pada Tabel 4.22 berikut.



Tabel 4.22 Nilai MSE dan Epoch Hasil *Testing* FRBF untuk IP TP.Gunungsari

Gunungsari		Periode Hasil Peramalan (tahun)		
<i>Learning rate</i>		0,5	1	1,5
0,01	MSE	0,1415	0.0055	0.0021
	<i>epoch</i>	5000	5000	4175
0,03	MSE	0,0015	9,9936e-04	9.9936e-04
	<i>epoch</i>	5000	2271	1399
0,05	MSE	9,9943e-04	9,9658e-04	9.9676e-04
	<i>epoch</i>	3206	1379	846
0,07	MSE	9,9696e-04	9,9379e-04	9.9510e-04
	<i>epoch</i>	2330	1000	613

Berdasarkan Tabel 4.22 diketahui bahwa dengan *learning rate* 0,01, 0,03, 0,05, dan 0,07 dalam proses *testing* untuk periode hasil peramalan 6 bulan, 1 tahun, dan 1 tahun 6 bulan, jaringan syaraf *FRBF* mampu mendekati data aktual dengan nilai MSE kurang dari goal minimum yaitu 0,001 sebelum epoch maksimum sebesar 5000 tercapai, kecuali pada learning rate 0,01 dan 0,03 untuk periode 6 bulan. Selain itu, pada Tabel 4.22 juga terlihat bahwa nilai MSE terkecil sebesar 9.9558e-05 dengan epoch terpendek sebanyak 1000 didapat dengan *learning rate* sebesar 0,07 pada periode hasil peramalan 1 tahun. Hal ini juga didukung oleh tren time series indeks pencemaran titik pantau Gunungsari yang memiliki tren yang berulang setiap tahunnya, salah satu contohnya adalah kenaikan pada awal tahun hingga pertengahan tahun. Grafik nilai peramalan in-sample indeks pencemaran titik pantau Gunungsari dengan *FRBF* dan *learning rate* 0,07 dan periode hasil peramalan 1 tahun dapat dilihat pada Gambar 4.15.



Gambar 4.15 *Output Testing* Aplikasi FRBF dalam Peramalan IP TP. Gunungsari

Nilai indeks pencemaran hasil *testing* dan data aktual yang telah diplot pada Gambar 4.15 dapat dilihat pada Tabel 4.23 berikut. Pada tabel 4.23 terlihat bahwa hasil *testing* menunjukkan model jaringan syaraf *Fuzzy Radial Basis Function* memiliki hasil terbaik dalam meramalkan indeks pencemaran Kali Surabaya titik pantau Gunungsari dengan periode hasil peramalan 1 tahun dan dengan learning rate 0,07. Hal tersebut ditunjukkan dengan nilai MSE terkecil sebesar  $9,9379e-04$  dan nilai error rata-rata sebesar 0,0267 dengan *learning rate* 0,07 dalam periode hasil peramalan 1 tahun. Oleh karena itu, dengan learning rate 0,07 dan periode 1 tahun, dapat digunakan untuk peramalan indeks pencemaran satu tahun kedepan. Hasil *testing* untuk *learning rate* selain 0,07 dan periode hasil peramalan selain 1 tahun dapat dilihat pada Lampiran 4.



Tabel 4.23 *Testing* Aplikasi FRBF dalam Peramalan IP TP. Gunungsari

Bulan	Nilai Indeks Pencemaran pada -		Nilai Error
	Data Aktual	Hasil Peramalan <i>FRBF</i>	
Juli'12	0.7472	0.7427	0.0045
Agustus'12	0.7030	0.6987	0.0043
September'12	0.6995	0.6957	0.0038
Oktober'12	0.9420	0.9282	0.0139
November'12	1.3127	1.2777	0.0351
Desember'12	1.1397	1.1160	0.0237
Januari'13	1.5150	1.4821	0.0329
Februari'13	1.6745	1.6324	0.0420
Maret'13	1.1133	1.0906	0.0226
April'13	1.4161	1.3790	0.0371
Mei'13	1.8140	1.7646	0.0494
Juni'13	1.8711	1.8190	0.0521

3) *Output Testing* Jaringan Syaraf FRBF dalam Peramalan Nilai Indeks Pencemaran Titik Pantau Jagir

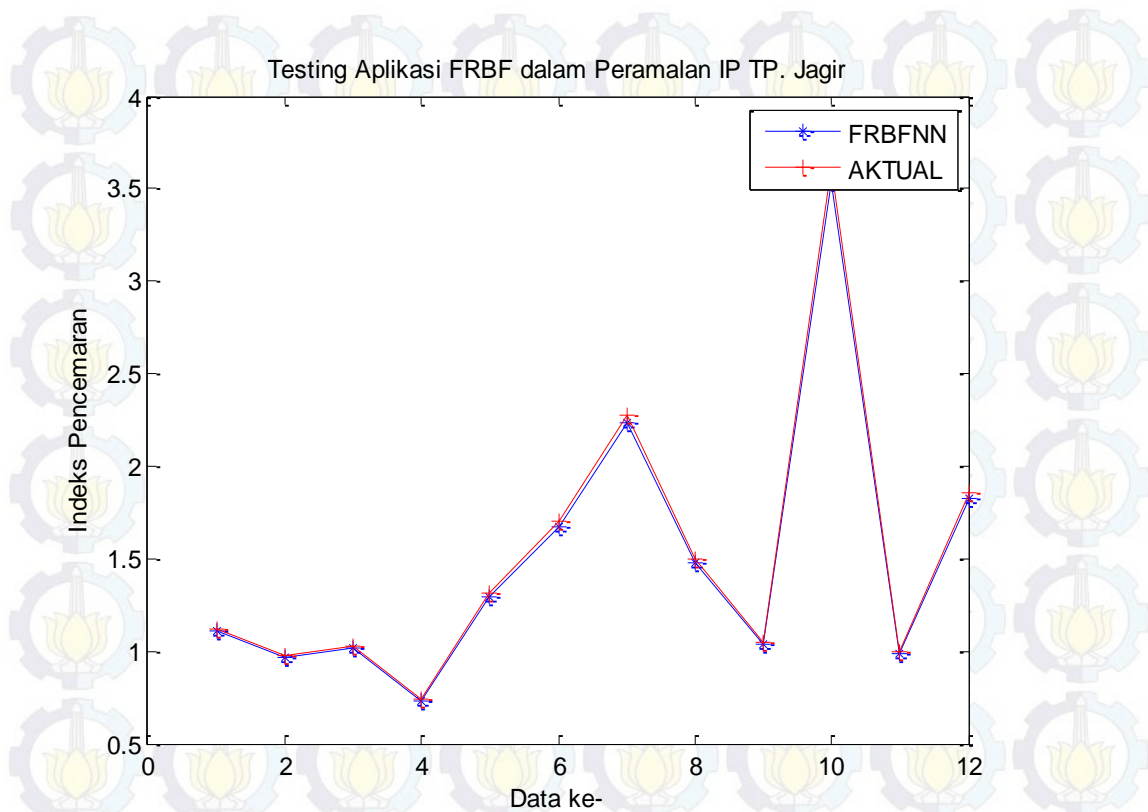
*Testing* aplikasi jaringan syaraf *Fuzzy Radial Basis Function* dalam peramalan indeks pencemaran TP. Jagir dilakukan dengan berbagai *learning rate* pada rentang 0,01, 0,03, 0,05, dan 0,07 dan periode data *testing* untuk 6 bulan, 1 tahun, dan 1 tahun 6 bulan untuk menentukan *learning rate* dan periode terbaik yang dapat digunakan dalam peramalan indeks pencemaran Kali Surabaya titik pantau Jagir. Hasil *testing* yang berupa nilai MSE dan *epoch* dengan berbagai *learning rate* dan periode dalam peramalan indeks pencemaran menggunakan *Fuzzy Radial Basis Function* dapat dilihat pada Tabel 4.24 berikut.

Tabel 4.24 Nilai MSE dan Epoch Hasil *Testing* FRBF untuk IP TP. Jagir

Gunungsari		Periode Hasil Peramalan (tahun)		
<i>Learning rate</i>		0,5	1	1,5
0,01	MSE	0,2470	0.0505	0.0010
	<i>epoch</i>	5000	5000	5000
0,03	MSE	0,0020	9,9975e-04	9.9640e-04
	<i>epoch</i>	5000	3572	1678
0,05	MSE	9,9935e-04	9,9798e-04	9.9824e-04
	<i>epoch</i>	3323	2167	1016
0,07	MSE	9,9769e-04	9,9539e-04	9.9850e-04
	<i>epoch</i>	2405	1569	735

Berdasarkan Tabel 4.24 diketahui bahwa dengan *learning rate* 0,01, 0,03, 0,05, dan 0,07 dalam proses *testing* untuk periode hasil peramalan 6 bulan, 1 tahun, dan 1 tahun 6 bulan, jaringan syaraf *FRBF* mampu mendekati data aktual dengan nilai MSE kurang dari goal minimum yaitu 0,001 sebelum epoch maksimum sebesar 5000 tercapai, kecuali pada learning rate 0,01 dan 0,03 untuk periode 6 bulan. Selain itu, pada Tabel 4.24 juga terlihat bahwa nilai MSE terkecil sebesar 9.9539e-04 dengan epoch terpendek sebanyak 1569 didapat dengan *learning rate* sebesar 0,07 pada periode hasil peramalan 1 tahun. Hal ini juga didukung oleh tren time series indeks pencemaran titik pantau Jagir yang memiliki tren yang berulang setiap tahunnya, salah satu contohnya adalah kenaikan pada awal tahun hingga pertengahan tahun. Grafik nilai peramalan in-sample indeks pencemaran titik pantau Gunungsari dengan *FRBF* dan *learning rate* 0,07 dan periode hasil peramalan 1 tahun dapat dilihat pada Gambar 4.16.





Gambar 4.16 *Output Testing* Aplikasi FRBF dalam Peramalan IP TP. Jagir

Nilai indeks pencemaran hasil *testing* dan data aktual yang telah diplot pada Gambar 4.16 dapat dilihat pada Tabel 4.25 berikut. Pada tabel 4.25 terlihat bahwa hasil *testing* menunjukkan model jaringan syaraf *Fuzzy Radial Basis Function* memiliki hasil terbaik dalam meramalkan indeks pencemaran Kali Surabaya titik pantau Jagir dengan periode hasil peramalan 1 tahun dan dengan learning rate 0,07. Hal tersebut ditunjukkan dengan nilai MSE terkecil sebesar  $9,9379e-04$  dan nilai error rata-rata sebesar 0,0251 dengan *learning rate* 0,07 dalam periode hasil peramalan 1 tahun. Oleh karena itu, dengan learning rate 0,07 dan periode 1 tahun, dapat digunakan untuk peramalan indeks pencemaran satu tahun kedepan. Hasil *testing* untuk *learning rate* selain 0,07 dan periode hasil peramalan selain 1 tahun dapat dilihat pada Lampiran 4.



Tabel 4.25 *Testing* Aplikasi FRBF dalam Peramalan IP TP. Jagir

Bulan	Nilai Indeks Pencemaran pada -		Nilai Error
	Aktual	Hasil Peramalan <i>FRBF</i>	
Juli'12	1.1232	1.1074	0.0158
Agustus'12	0.9779	0.9676	0.0103
September'12	1.0255	1.0122	0.0133
Oktober'12	0.7398	0.7350	0.0048
November'12	1.3165	1.2942	0.0223
Desember'12	1.6999	1.6701	0.0298
Januari'13	2.2805	2.2391	0.0414
Februari'13	1.4974	1.4727	0.0247
Maret'13	1.0507	1.0365	0.0143
April'13	3.6174	3.5384	0.0790
Mei'13	1.0000	0.9862	0.0138
Juni'13	1.8594	1.8270	0.0324

#### 4.4.3 Peramalan Indeks Pencemaran dengan Jaringan Syaraf *FRBF*

Peramalan indeks pencemaran Kali Surabaya segmen Sepanjang – Jagir dilakukan untuk meramalkan indeks pencemaran Kali Surabaya segmen Sepanjang – Jagir pada periode selanjutnya berdasarkan hasil *training* dan *testing* model. *Input* yang digunakan dalam peramalan adalah gabungan hasil fuzzifikasi indeks pencemaran (*fip*) dengan hasil fuzzifikasi hasil *testing*. Berikut adalah *source code* yang digunakan dalam penggabungan dan fuzzifikasi hasil *testing* dengan *obs* sebagai hasil *testing*.

Tabel 4.26 *Source Code* Fuzzifikasi *Input* Peramalan IP dengan *FRBF*

<pre> for nn=1:length(obs)     if obs(nn) &lt; 1         fip(length(fip)+1,:)= [0 obs(nn) 1];     elseif obs(nn) &lt; 2         fip(length(fip)+1,:)= [1 obs(nn) 2];     elseif obs(nn) &lt; 3         fip(length(fip)+1,:)= [2 obs(nn) 3];     else         fip(length(fip)+1,:)= [3 obs(nn) 4];     end end end </pre>
--

Pada peramalan error yang digunakan adalah error pada proses *testing* dan tidak ditentukan goal yang akan dicapai. Data hasil peramalan out sample digunakan sebagai hasil peramalan indeks pencemaran Kali Surabaya bulan Juli 2013 – Juni 2014 untuk masing – masing titik pantau. Berikut adalah *source code* yang digunakan untuk perhitungan *output* peramalan indeks pencemaran Kali Surabaya titik pantau Sepanjang, Gunungsari maupun Jagir.

Tabel 4.27 *Source Code Output Peramalan Jaringan Syaraf FRBF*

```

1  % % step1RBF. menghitung nilai output pd neuron hidden
2  bfstdev=sum(std(fip));
3  ycbb=(-(Hb.^2)/(2*(bfstdev^2)));
4  yb=exp(ycbb);
5
6  % % step2RBF. menghitung nilai output pd neuron output
7  rw=xlsread('W1.xlsx','A61:L72');
8  wb=[w;rw];
9  learningrate=input('Learning rate:');
10 for epoch=1:500
11     fobsb=yb*wb;
12     dwb=learningrateb*e*yb;
13     wbarub=wb'+dwb;
14     wb=wbarub';
15 end

```

Source Code diatas berbeda dengan *source code* yang digunakan untuk peramalan *in-sample* atau sebagai *testing* program. Perbedaannya adalah pada peramalan *out-sample* tidak dihitung nilai MSE. Nilai bobot yang digunakan merupakan gabungan dari bobot akhir dalam proses *testing* yang berukuran  $54 \times 12$  dan bangkitan data yang berukuran  $12 \times 12$ . Dengan *source code* diatas pada nilai IP Kali Surabaya segmen Sepanjang – Jagir didapatkan hasil sebagai berikut.

#### 1) *Output* Peramalan Nilai IP TP. Sepanjang

Peramalan nilai indeks pencemaran titik pantau Sepanjang dilakukan dengan nilai *learning rate* dan periode hasil peramalan yang terbaik dalam hasil *testing*. Nilai *learning rate* dan periode hasil peramalan terbaik dalam hasil *testing* adalah *learnning rate* dan periode yang menghasilkan nilai MSE terkecil pada proses *testing* aplikasi jaringan syaraf Fuzzy Radial Basis Function (FRBF) dalam peramalan indeks pencemaran Kali Surabaya titik pantau Sepanjang. Nilai MSE

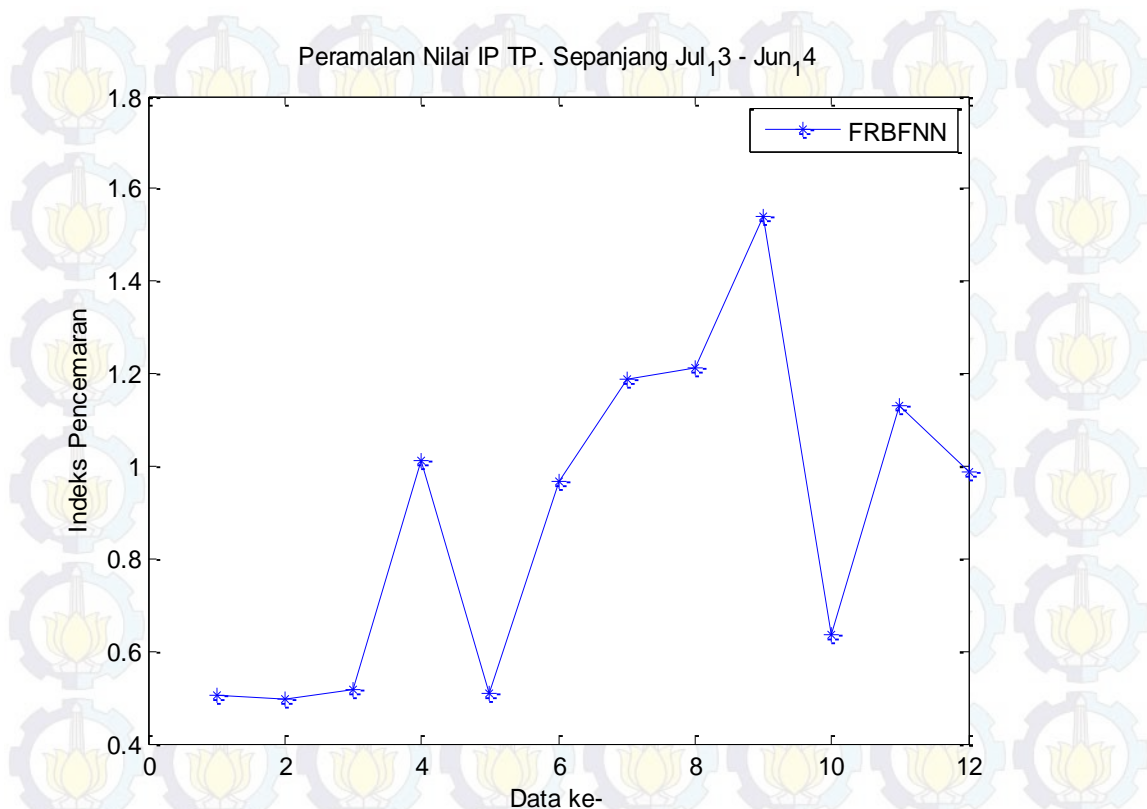


terkecil dalam proses *testing* didapatkan dengan *learning rate* 0,07 dan periode 1 tahun hasil peramalan. Nilai peramalan indeks pencemaran Kali Surabaya titik pantau Sepanjang yang didapatkan dengan jaringan syaraf *FRBF* dapat dilihat pada Tabel 4.28. Sedangkan grafik hasil peramalan indeks pencemaran Kali Surabaya titik pantau Sepanjang dapat dilihat pada Gambar 4.13.

Tabel 4.28 Hasil Peramalan Indeks Pencemaran Kali Surabaya TP. Sepanjang dengan *FRBF*

Bulan	Indeks Pencemaran pada –
Juli'13	0.5054
Agustus'13	0.4964
September'13	0.5163
Oktober'13	1.0130
November'13	0.5101
Desember'13	0.9652
Januari'14	1.1888
Februari'14	1.2121
Maret'14	1.5382
April'14	0.6347
Mei'14	1.1320
Juni'14	0.9880

Nilai indeks pencemaran Kali Surabaya titik pantau Sepanjang yang didapatkan dengan jaringan syaraf *FRBF* pada Tabel 4.28 dalam grafik dapat dilihat pada Gambar 4.17.



Gambar 4.17 Grafik Hasil Peramalan Indeks Pencemaran TP. Sepanjang Jul'13 – Jun'14 dengan *FRBF*

Nilai hasil peramalan indeks pencemaran Kali Surabaya titik pantau Sepanjang pada Tabel 4.28 berada pada rentang 0,4964 hingga 1,5382. Berdasarkan data debit yang didapatkan dari Perum Jasa Tirta yaitu data debit bulan Juli 2013 hingga Desember 2013 yang bernilai 52.33; 40.50; 90.83; 66.30; 43.65; 70.21. Adanya peningkatan debit pada bulan September, Oktober, dan Desember serta adanya peningkatan nilai indeks pencemaran setiap awal tahun yang terlihat dalam plot time series sebelumnya juga diikuti oleh hasil peramalan seperti yang terlihat pada Tabel 4.28. Oleh karena itu, dapat dikatakan bahwa hasil peramalan sesuai dengan pola hidrolik pada series tersebut. Sedangkan berdasarkan evaluasi indeks pencemaran dalam PP No.82 Tahun 2001, rentang nilai hasil peramalan tersebut digolongkan pada status mutu baik hingga tercemar ringan.



## 2) *Output* Peramalan Nilai IP TP. Gunungsari

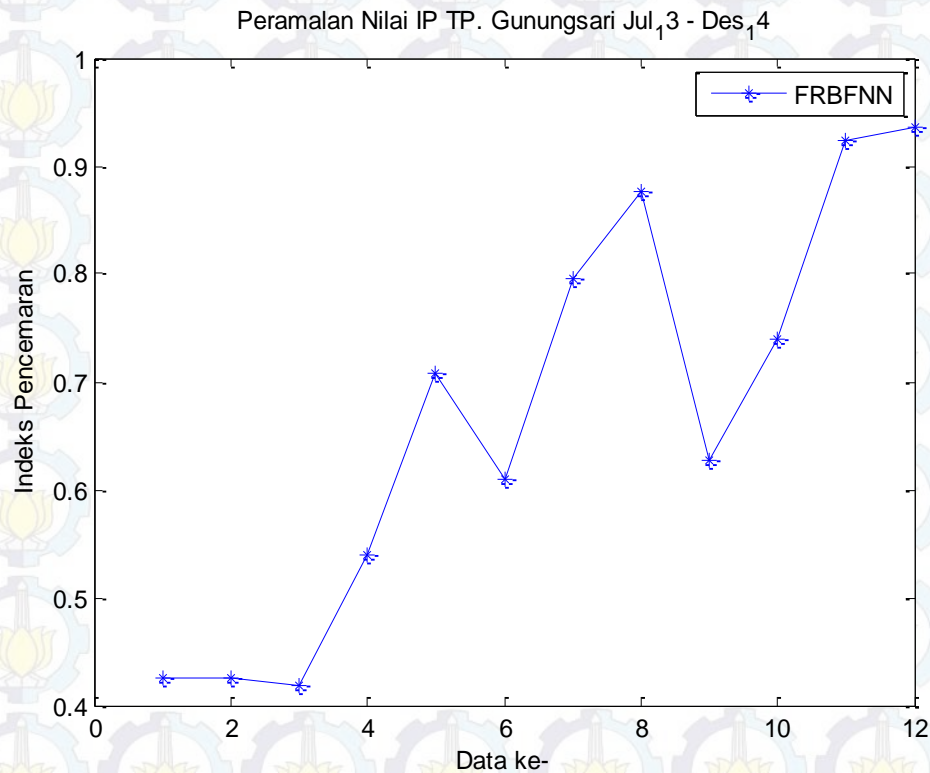
Peramalan nilai indeks pencemaran titik pantau Gunungsari dilakukan dengan nilai *learning rate* dan periode hasil peramalan yang terbaik dalam hasil *testing*. Nilai *learning rate* dan periode hasil peramalan terbaik dalam hasil *testing* adalah *learning rate* dan periode yang menghasilkan nilai MSE terkecil pada proses *testing* aplikasi jaringan syaraf *Fuzzy Radial Basis Function (FRBF)* dalam peramalan indeks pencemaran Kali Surabaya titik pantau Gunungsari. Nilai MSE terkecil dalam proses *testing* didapatkan dengan *learning rate* 0,07 dan periode 1 tahun hasil peramalan. Nilai peramalan indeks pencemaran Kali Surabaya titik pantau Gunungsari yang didapatkan dengan jaringan syaraf *FRBF* dapat dilihat pada Tabel 4.29. Sedangkan grafik hasil peramalan indeks pencemaran Kali Surabaya titik pantau Gunungsari dapat dilihat pada Gambar 4.14.

Tabel 4.29 Hasil Peramalan Indeks Pencemaran Kali Surabaya TP. Gunungsari dengan *FRBF*

Bulan	Indeks Pencemaran pada –
Juli'13	0.4252
Agustus'13	0.4253
September'13	0.4178
Oktober'13	0.5397
November'13	0.7073
Desember'13	0.6100
Januari'14	0.7950
Februari'14	0.8768
Maret'14	0.6271
April'14	0.7401
Mei'14	0.9238
Juni'14	0.9354



Nilai indeks pencemaran Kali Surabaya titik pantau Gunungsari yang didapatkan dengan jaringan syaraf *FRBF* pada Tabel 4.29 dalam grafik dapat dilihat pada Gambar 4.18.



Gambar 4.18 Grafik Hasil Peramalan Indeks Pencemaran TP. Gunungsari Jul'13 – Jun'14 dengan *FRBF*

Nilai hasil peramalan indeks pencemaran Kali Surabaya titik pantau Gunungsari pada Tabel 4.29 berada pada rentang 0,4178 hingga 0,9354. Berdasarkan data debit yang didapatkan dari Perum Jasa Tirta yaitu data debit rata – rata Kali Surabaya bulan Juli 2013 hingga Desember 2013 yang bernilai 52.33; 40.50; 90.83; 66.30; 43.65; 70.21. Adanya peningkatan debit pada bulan September, Oktober, dan Desember tidak diikuti dengan peningkatan yang signifikan pada hasil peramalan seperti yang terlihat pada Tabel 4.29. Sedangkan adanya peningkatan pada awal tahun dan pertengahan tahun, yaitu bulan Mei dan Juni, yang terlihat pada tren time series pada tahun sebelumnya juga diikuti dengan adanya peningkatan indeks pencemaran pada hasil peramalan yang terlihat pada

Tabel 4.29. Oleh karena itu, dapat dikatakan bahwa hasil peramalan sesuai dengan tren time series pada series tersebut. Sedangkan berdasarkan evaluasi indeks pencemaran dalam PP No.82 Tahun 2001, rentang nilai hasil peramalan tersebut digolongkan pada status mutu baik hingga tercemar ringan.

### 3) *Output* Peramalan Nilai IP TP. Jagir

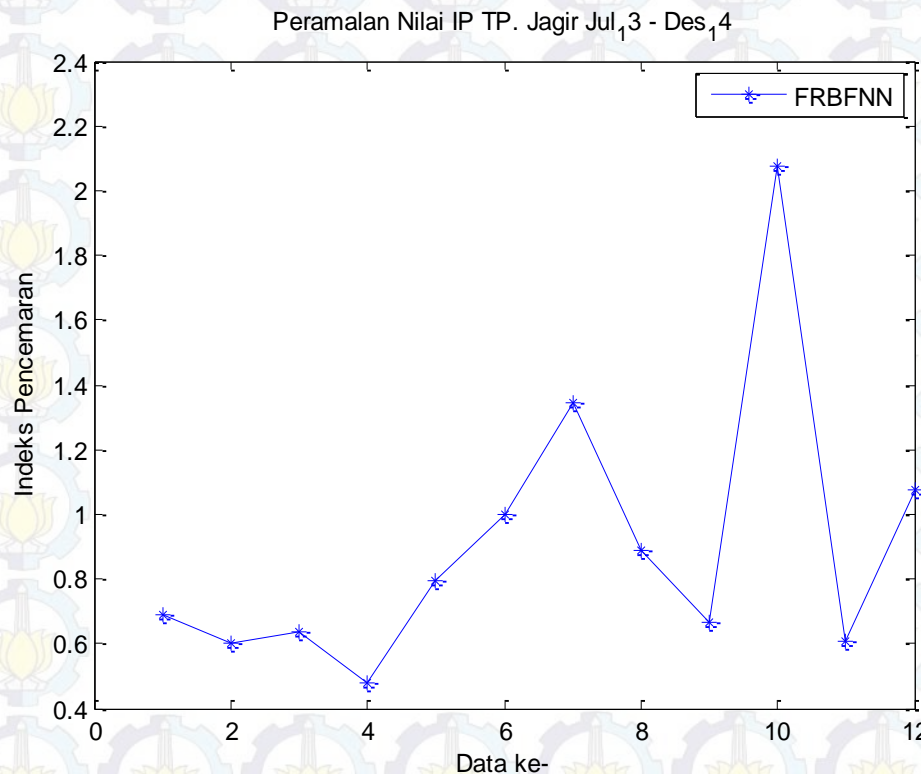
Peramalan nilai indeks pencemaran titik pantau Jagir dilakukan dengan nilai *learning rate* dan periode hasil peramalan yang terbaik dalam hasil *testing*. Nilai *learning rate* dan periode hasil peramalan terbaik dalam hasil *testing* adalah *learning rate* dan periode yang menghasilkan nilai MSE terkecil pada proses *testing* aplikasi jaringan syaraf *Fuzzy Radial Basis Function (FRBF)* dalam peramalan indeks pencemaran Kali Surabaya titik pantau Jagir. Nilai MSE terkecil dalam proses *testing* didapatkan dengan *learning rate* 0,07 dan periode 1 tahun hasil peramalan. Nilai peramalan indeks pencemaran Kali Surabaya titik pantau Jagir yang didapatkan dengan jaringan syaraf *FRBF* dapat dilihat pada Tabel 4.30. Sedangkan grafik hasil peramalan indeks pencemaran Kali Surabaya titik pantau Jagir dapat dilihat pada Gambar 4.15.

Tabel 4.30 Hasil Peramalan Indeks Pencemaran Kali Surabaya TP.Jagir dengan *FRBF*

Bulan	Indeks Pencemaran pada –
Juli'13	0.6887
Agustus'13	0.6009
September'13	0.6387
Oktober'13	0.4778
November'13	0.7930
Desember'13	0.9977
Januari'14	1.3418
Februari'14	0.8897
Maret'14	0.6683
April'14	2.0757
Mei'14	0.6072
Juni'14	1.0752



Nilai indeks pencemaran Kali Surabaya titik pantau Jagir yang didapatkan dengan jaringan syaraf *FRBF* pada Tabel 4.30 dalam grafik dapat dilihat pada Gambar 4.15.



Gambar 4.15 Grafik Hasil Peramalan Indeks Pencemaran TP. Jagir Jul'13 – Jun'14 dengan *FRBF*

Nilai hasil peramalan indeks pencemaran Kali Surabaya titik pantau Jagir pada Tabel 4.30 berada pada rentang 0,4778 hingga 2,0757. Berdasarkan data debit yang didapatkan dari Perum Jasa Tirta yaitu data debit rata – rata Kali Surabaya bulan Juli 2013 hingga Desember 2013 yang bernilai 52.33; 40.50; 90.83; 66.30; 43.65; 70.21. Adanya peningkatan debit pada bulan Desember juga diikuti dengan peningkatan yang signifikan pada hasil peramalan seperti yang terlihat pada Tabel 4.25. Sedangkan adanya peningkatan pada awal tahun dan pertengahan tahun, yaitu bulan April dan Juni, yang terlihat pada tren time series pada tahun sebelumnya juga diikuti dengan adanya peningkatan indeks pencemaran pada hasil peramalan yang terlihat pada Tabel 4.25. Oleh karena itu, dapat dikatakan bahwa hasil

peramalan sesuai dengan tren time series dan menyerupai pola hidrolis pada series tersebut. Sedangkan berdasarkan evaluasi indeks pencemaran dalam PP No.82 Tahun 2001, rentang nilai hasil peramalan tersebut digolongkan pada status mutu baik hingga tercemar ringan.

#### 4.5 Penentuan Status Perairan Mendatang

Pada penelitian ini, model jaringan syaraf *Fuzzy Radial Basis Function* diharapkan dapat mengembangkan kualitas hasil peramalan dari terbatasnya data dan karakteristik data yang berbeda antar parameter kualitas air. Hasil peramalan nilai beberapa parameter kualitas air Kali Surabaya dengan menggunakan aplikasi jaringan syaraf *Fuzzy Radial Basis Function* digunakan sebagai peramalan indeks pencemaran Kali Surabaya segmen Sepanjang – Jagir pada bulan Juli 2013 hingga Juni 2014. Hasil peramalan indeks pencemaran Kali Surabaya segmen Sepanjang – Jagir dapat digunakan sebagai acuan dalam upaya pengelolaan dan pemantauan kualitas air Kali Surabaya.

Hasil yang didapatkan dari peramalan indeks pencemaran Kali Surabaya segmen Sepanjang – Jagir pada bulan Juli 2013 hingga Juni 2014 dengan model jaringan syaraf *Fuzzy Radial Basis Function* dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4.31 Hasil Peramalan Indeks Pencemaran Kali Surabaya Segmen Sepanjang – Jagir periode Juli 2013 hingga Juni 2014

	Indeks Pencemaran pada Titik Pantau -		
Bulan	Sepanjang	Gunungsari	Jagir
Juli'13	0.5054	0.4252	0.6887
Agustus'13	0.4964	0.4253	0.6009
September'13	0.5163	0.4178	0.6387
Oktober'13	1.0130	0.5397	0.4778
November'13	0.5101	0.7073	0.7930
Desember'13	0.9652	0.6100	0.9977
Januari'14	1.1888	0.7950	1.3418
Februari'14	1.2121	0.8768	0.8897



Bulan	Indeks Pencemaran pada Titik Pantau -		
	Sepanjang	Gunungsari	Jagir
Maret'14	1.5382	0.6271	0.6683
April'14	0.6347	0.7401	2.0757
Mei'14	1.1320	0.9238	0.6072
Juni'14	0.9880	0.9354	1.0752

Berdasarkan hasil peramalan pada Tabel 4.31 diatas dan Baku Mutu Air pada PP No. 82 Tahun 2001 dapat disimpulkan bahwa mayoritas kualitas air Kali Surabaya pada tahap tercemar ringan. Bersamaan dengan status tercemar, maka begitu pula dengan daya dukung dan daya tampung air Kali Surabaya segmen Sepanjang – Jagir yang sudah melewati batas.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah diberikan, dapat dibuat kesimpulan serta saran untuk pengembangan dan perbaikan penelitian selanjutnya.

#### 5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari hasil penelitian dan pembahasan yang telah diberikan adalah sebagai berikut.

1. Berdasarkan nilai parameter kualitas air *DO*, *COD*, dan *BOD* dan metode indeks pencemaran ditetapkan nilai indeks pencemaran Kali Surabaya segmen Sepanjang – Jagir pada Januari 2008 hingga Juni 2013 memiliki rentang nilai yaitu 0,6836 hingga 3,1366 (untuk titik pantau Sepanjang), 0,6579 dan 3,1961 (untuk titik pantau Gunungsari), dan 0,6714 dan 3,6174 (untuk titik pantau Jagir).
2. Berdasarkan proses *training* yang dibagi dalam dua tahap yaitu *unsupervised training* dengan *fuzzy self organizing maps* dan *supervised training* dengan *Radial Basis Function*, nilai indeks pencemaran Kali Surabaya segmen Sepanjang – Jagir dapat diidentifikasi dan dimodelkan untuk aplikasi peramalan indeks pencemaran. Berdasarkan proses *testing* dengan *learning rate* pada rentang 0,01 dan 0,07 terlihat kecenderungan bahwa semakin kecil *learning rate* semakin besar nilai kesalahannya sedangkan untuk *learning rate* lebih dari 0,07 memiliki nilai kesalahan yang semakin besar sehingga *learning rate* sebesar 0,07 merupakan *learning rate* terbaik. Sedangkan proses *testing* dengan *learning rate* 0,07 dan berbagai periode hasil peramalan didapatkan nilai MSE terkecil untuk ketiga titik pantau, yaitu MSE sebesar 9.9558e-04 dengan periode 1 tahun untuk indeks pencemaran Kali Surabaya titik pantau Sepanjang, MSE sebesar 9.9379e-04 dengan periode 1 tahun pada titik pantau Gunungsari, dan MSE sebesar 9.9539e-05 dengan periode 1 tahun pada titik pantau

Jagir. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa model jaringan syaraf *Fuzzy Radial Basis Function* dapat digunakan untuk identifikasi dan peramalan nilai indeks pencemaran Kali Surabaya segmen Sepanjang-Jagir dengan *learning rate* 0,07 dan dalam periode 1 tahun yang sesuai dengan tren *time series* data tersebut untuk mendapatkan hasil terbaik.

3. Berdasarkan hasil peramalan indeks pencemaran Kali Surabaya segmen Sepanjang – Jagir, yaitu pada rentang 0,4964 hingga 1,5382 (untuk titik pantau Sepanjang), rentang 0,4252 hingga 0,9354 (untuk titik pantau Gunungsari), dan pada rentang 0,4778 hingga 2,0757 (untuk titik pantau Jagir), dapat diramalkan kondisi pencemaran Kali Surabaya segmen Sepanjang-Jagir untuk kurun waktu Juli 2013 – Juni 2014 berada di status tercemar ringan dengan tren *time series* hasil peramalan yang menyerupai tren *time series* data *training*.

## 5.2 Saran

Saran untuk pengembangan dan perbaikan penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Penentuan indeks pencemaran (IP) dapat dikembangkan dengan mempertimbangkan baku mutu air pada seluruh kelas.
2. Model jaringan syaraf *Fuzzy Radial Basis Function (FRBF)* dapat dikembangkan dengan menambahkan algoritma untuk seleksi *center neuron*.
3. Peramalan dengan hasil periode lebih panjang dapat diperoleh dengan pengembangan proses stokastik ataupun dengan menambahkan data *training*.



## DAFTAR PUSTAKA

- Arifin Z. dan Irawan, M.I., (2009), “Adaptive Sensitivity Sensitivity-based Linear Learning Method Algorithms for Data Classification”, *Proceeding of 5<sup>th</sup> International Conference of Mathematics, Statistics and Their Applications*, Bukit Tinggi – West Sumatra Indonesia, Juni 9 -11
- Bishop, C. M., (1995), *Neural Networks for Pattern Recognition*, Oxford University Press Inc., United States.
- Broomhead, D., Lowe, D., (1988), *Multivariable functional interpolation and adaptive networks*. *Complex Syst.* 2 (6), 321–355.
- Chak, C.K., Feng, G., dan Palaniswani, M., (1998), “Implementation of Fuzzy Systems”, *Fuzzy Logic and Expert System Applications* eds. Leondes, C.T., Academic Press, Volume 6 of *Neural Network System Techniques and Application*, London.
- Chang., (1996), “Application of the Extent Analysis Method on Fuzzy AHP”, *European Journal of Operational Research* 95, 649-655.
- Chi, Sheng-Chai dan Li-Chang Hsu., (2001), “A Fuzzy Radial Basis Function Neural Network for Predicting Multiple Quality Characteristics of Plasma Arc Welding”, *IEEE Trans. Neural Networks*, Taiwan.
- Fausett, L., (1995), *Fundamental of Neural Networks: Architecture, Algorithms, and Applications*, Prentice Hall New Jersey
- Govindaraju, R.S., (2000)a. “Artificial neural networks in hydrology I: preliminary concepts”. *ASCE task committee on application of artificial neural networks in hydrology*. *J. Hydrol. Eng.* 5 (2), 115–123.
- Govindaraju, R.S., (2000)b. “Artificial neural networks in hydrology II: hydrologic applications”. *ASCE task committee on application of artificial neural networks in hydrology*. *J. Hydrol. Eng.* 5 (2), 124–137.
- Guclu, D., Dursun, S., (2008). “Amelioration of carbon removal prediction for an activated sludge process using an artificial neural network (ANN)”. *Clean-Soil Air Water* 36, 781–787.
- Hagan, M.T., Menhaj, M.B., (1994). “Training feed forward networks with the Marquardt algorithm”. *IEEE Trans. Neural Networks* 5 (6), 861–867.

- Indraswari, H., (2007), “Evaluasi Titik Sampling Kualitas Air Sungai Brantas dengan Aplikasi Model HP2S (Hidrodinamika Penyebaran Polutan Sungai)”, *Thesis*, Teknik Lingkungan FTSP ITS, Surabaya.
- Karnaningroem, N., (2007), “Analisa Risiko Bagi Jaminan Kualitas Air Produksi PDAM Ngagel III Surabaya”, *Penelitian Hibah A2 Teknik Lingkungan*, ITS Surabaya.
- Karnaningroem, N., Hadi, W., dan Purnomo, A., (2010), “Upaya Peningkatan Kualitas Air Baku Air Minum bagi PDAM”, *Penelitian Hibah Bersaing*, ITS Surabaya.
- Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 115 Tahun 2003, (2003), Pedoman Penentuan Status Mutu Air, Kementerian Negara Lingkungan Hidup, Jakarta.
- Kolarik, T. dan Rudorfer, G., (1994), “Time Series Forecasting Using Neural Networks”, *Proceeding of the International Conference on API*, Belgium
- Kusumadewi, Sri., (2006), *Fuzzy Multi Attribute Decision Making*, Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Lalla, M., dan Facchinetti, G., (2004), “Measurement and Fuzzy Scales”, *Atti della XLII Riunione Scientifica*, 351-362.
- Lee, H.K., Oh, K.D., Park, D.H., Jung, J.H., Yoon, S.J., (1997), “Fuzzy expert system to determine stream water quality classification from ecological information”, *Water Sci. Technol.* 36 (12), 199–206.
- Liang, G. S. dan M. J. J. Wang., (1993), “A Fuzzy Multi-Criteria Decision-Making Approach for Robot Selection”, *Robotics & Computer-Integrated Manufacturing*. 10. 267-274.
- Maier, H., Dandy, G., (2000), “Neural networks for the prediction and forecasting of water sources variables: a review of a modeling issues and applications”, *Environ. Model. Softw.* 15, 101–124.
- Masduqi, A dan Apriliani E., (2008), “Estimation of Surabaya River Water Quality Using Kalman Filter Algorithm”, IPTEK, *The Journal for Technology and Science*, Vol. 19, No. 3, August 2008
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 1 Tahun 2010, (2010), Tata Laksana Pengendalian Pencemaran Air, Kementerian Negara Lingkungan Hidup. Jakarta.

- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 82 Tahun 2001, (2001),  
Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air, Jakarta.
- Purnomo, A., (2011), Optimasi Limpasan Air Limbah ke Kali Surabaya (Segmen  
Sepanjang – Jagir) dengan program dinamis.
- Qiao, J., Chen, Q., Han, H., (2011), “The chemical oxygen demand modelling  
based on a dynamic structure neural network”, *Waste water-evaluation and  
management*. Prof. Fernando Sebastián García Einschlag. 93–114, ISBN  
978-953-307-233-3 pp.
- Ranaweera, D. K., Hubble, N. F., dan Papalexopoulos, A. D., (1995),  
“Application of Radial Basis Function Neural Network Model for Short  
Term Load Forecasting”, *IEEE Proceedings Generation Transmission and  
Distribution* 142.1, 45-50
- Riggs, James L., (1987), *Production System – Planning, Analysis and Control*,  
John Wiley & Sons, Singapore.
- Riyadi, S., (1984), *Pencemaran Air*, Karya Anda, Surabaya.
- Thommassey, S. dan Happiette, M., (2007), “A neural clustering and  
classification system for sales forecasting of new apparel item”, *Applied Soft  
Computing* 7, 1177-1187
- Veerabathiran, Dr. R., Srinath, Dr. K. A., (2012), “Application of the Extent  
Analysis Method on Fuzzy AHP”, *International Journal of Engineering  
Science and Technology (IJEST)*. Vol. 4, No.07, 3472-3480.





## BIODATA PENULIS



Penulis yang memiliki nama lengkap Nisa Ayunda lahir di Mojokerto, 15 Juni 1991. Penulis telah menempuh pendidikan formal mulai dari SD Negeri Kranggan 3 Kota Mojokerto, SMP Negeri 1 Kota Mojokerto, dan SMA Negeri 1 Sooko Mojokerto. Setelah lulus dari SMA, penulis melanjutkan studi S1 di Jurusan Matematika Universitas Brawijaya Malang dan diterima sebagai mahasiswa angkatan 2009. Penulis lulus sarjana dengan tujuh semester dan wisuda pada bulan Juni 2013

dengan mendapat gelar Sarjana Sains. Penulis melanjutkan studi S2 di Jurusan Matematika Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya pada tahun 2013 melalui jalur Beasiswa BPPDN Dikti dengan NRP. 1213 201 007. Selama kuliah S1 dan S2 di Jurusan Matematika, penulis mengambil Bidang Minat Matematika Terapan dan Ilmu Komputer. Untuk membentuk jaringan atau membutuhkan informasi yang berhubungan dengan penelitian tesis ini, penulis dapat dihubungi melalui email [ayundanisa15@gmail.com](mailto:ayundanisa15@gmail.com).



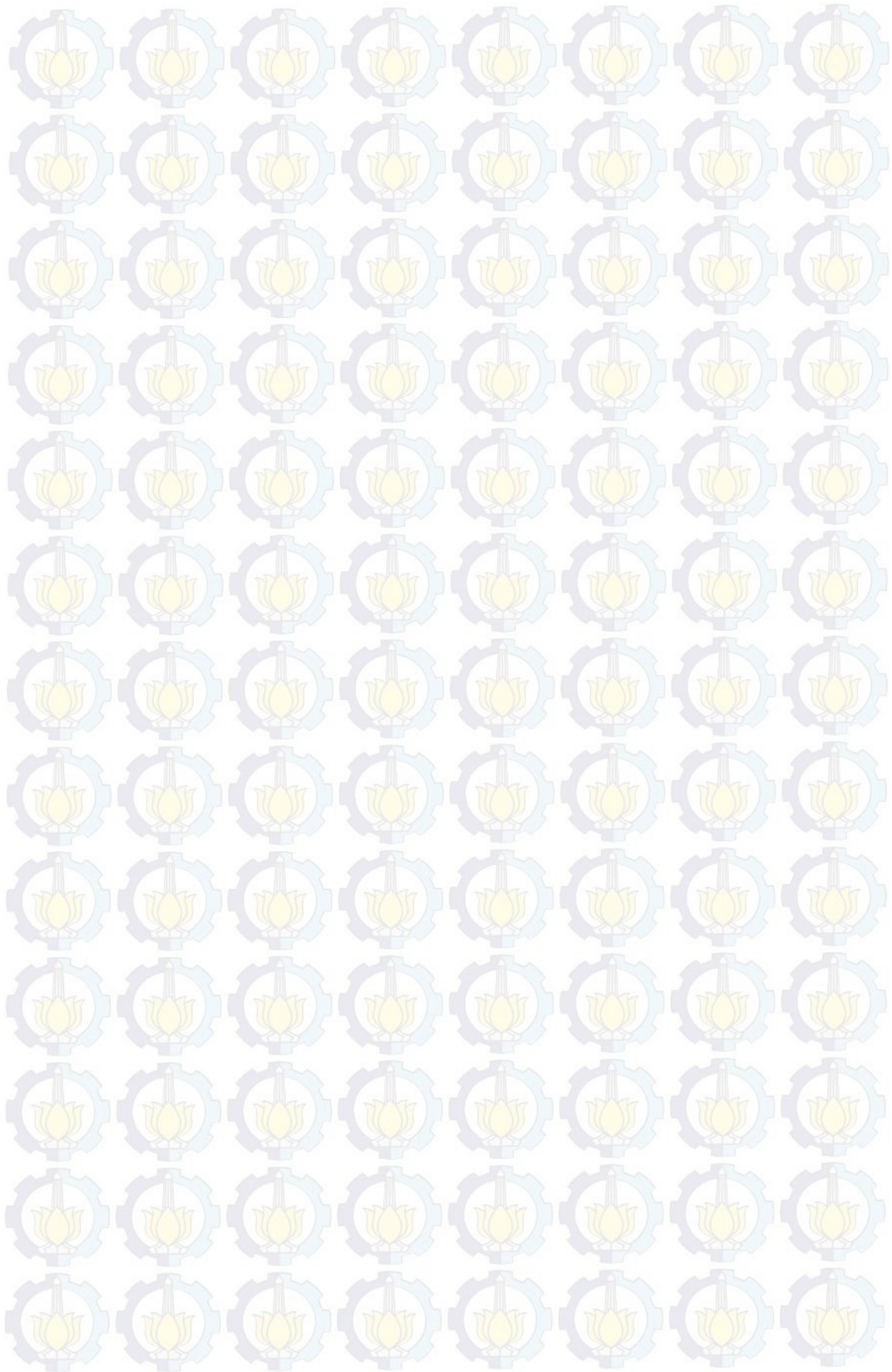


## LAMPIRAN 1

### DATA KUALITAS AIR KALI SURABAYA

NO	LOKASI	SUNGAI	TGL	JAM	DO	BOD	COD
592	Karangpilang	Surabaya	19/02/2013	11:05	3.73	4.33	20.84
593	Karangpilang	Surabaya	01/03/2013	10:35	4.94	4.11	21.85
594	Karangpilang	Surabaya	15/03/2013	10:50	3.91	5.08	25.64
595	Karangpilang	Surabaya	01/04/2013	9:45	4.01	15	34.49
596	Karangpilang	Surabaya	15/04/2013	11:45	3.97	7.99	49.73
597	Karangpilang	Surabaya	01/05/2013	11:25	3.1	3.92	11.79
598	Karangpilang	Surabaya	15/05/2013	10:45	3.76	8.09	39.86
599	Karangpilang	Surabaya	03/06/2013	13:30	3.41	3.34	26.55
600	Karangpilang	Surabaya	14/06/2013	10:00	4.01	2.1	7.006
601	Karangpilang	Surabaya	01/07/2013	11:50	4.78	3.08	10.77
602	Karangpilang	Surabaya	15/07/2013	11:35	3.98	2.24	11.43
603	Karangpilang	Surabaya	01/08/2013	11:00	4.1	3.78	20.01
604	Karangpilang	Surabaya	16/08/2013	9:40	3.71	2.08	6.163
605	Karangpilang	Surabaya	02/09/2013	10:40	4.1	4.26	16.27
606	Karangpilang	Surabaya	16/09/2013	11:42	4.34	2.94	13.55
607	Karangpilang	Surabaya	01/10/2013	11:30	3.39	3.26	20.45
608	Karangpilang	Surabaya	16/10/2013	11:05	3.97	3.58	17.68
609	Karangpilang	Surabaya	01/11/2013	10:55	3.49	4.32	16.64
610	Karangpilang	Surabaya	14/11/2013	7:50	3.14	4.66	20.49
611	Karangpilang	Surabaya	02/12/2013	14:30	3.43	3.79	9.051
612	Karangpilang	Surabaya	13/12/2013	10:00	4.01	8.21	66.31
613	Jemb. Sepanjang	Surabaya	8/1/2008	11:20	3.7	8.9	18.3
614	Jemb. Sepanjang	Surabaya	12/2/2008	12:10	2.5	3.7	11.1
615	Jemb. Sepanjang	Surabaya	11/3/2008	11:05	4.2	9.3	48
616	Jemb. Sepanjang	Surabaya	7/4/2008	12:50	4.1	4	20.8
617	Jemb. Sepanjang	Surabaya	6/5/2008	12:40	4.4	7.3	24.9
618	Jemb. Sepanjang	Surabaya	2/6/2008	13:30	3.8	2.3	12
619	Jemb. Sepanjang	Surabaya	1/7/2008	14:00	2.9	6.9	14.3
620	Jemb. Sepanjang	Surabaya	7/8/2008	12:15	3.1	3.2	10.2
621	Jemb. Sepanjang	Surabaya	2/9/2008	12:00	3.1	4.7	18.4
622	Jemb. Sepanjang	Surabaya	9/10/2008	13:00	3.3	6.4	12.5
623	Jemb. Sepanjang	Surabaya	10/11/2008	12:39	3.9	1.8	11.6
624	Jemb. Sepanjang	Surabaya	4/12/2008	11:45	3.8	3	9.1
625	Jemb. Sepanjang	Surabaya	7/1/2009	12:20	3.3	5	14
626	Jemb. Sepanjang	Surabaya	5/2/2009	12:45	4.8	7.17	26.008
627	Jemb. Sepanjang	Surabaya	5/3/2009	12:15	4	6.91	40.233
628	Jemb. Sepanjang	Surabaya	6/4/2009	12:40	3.9	5.17	25.212

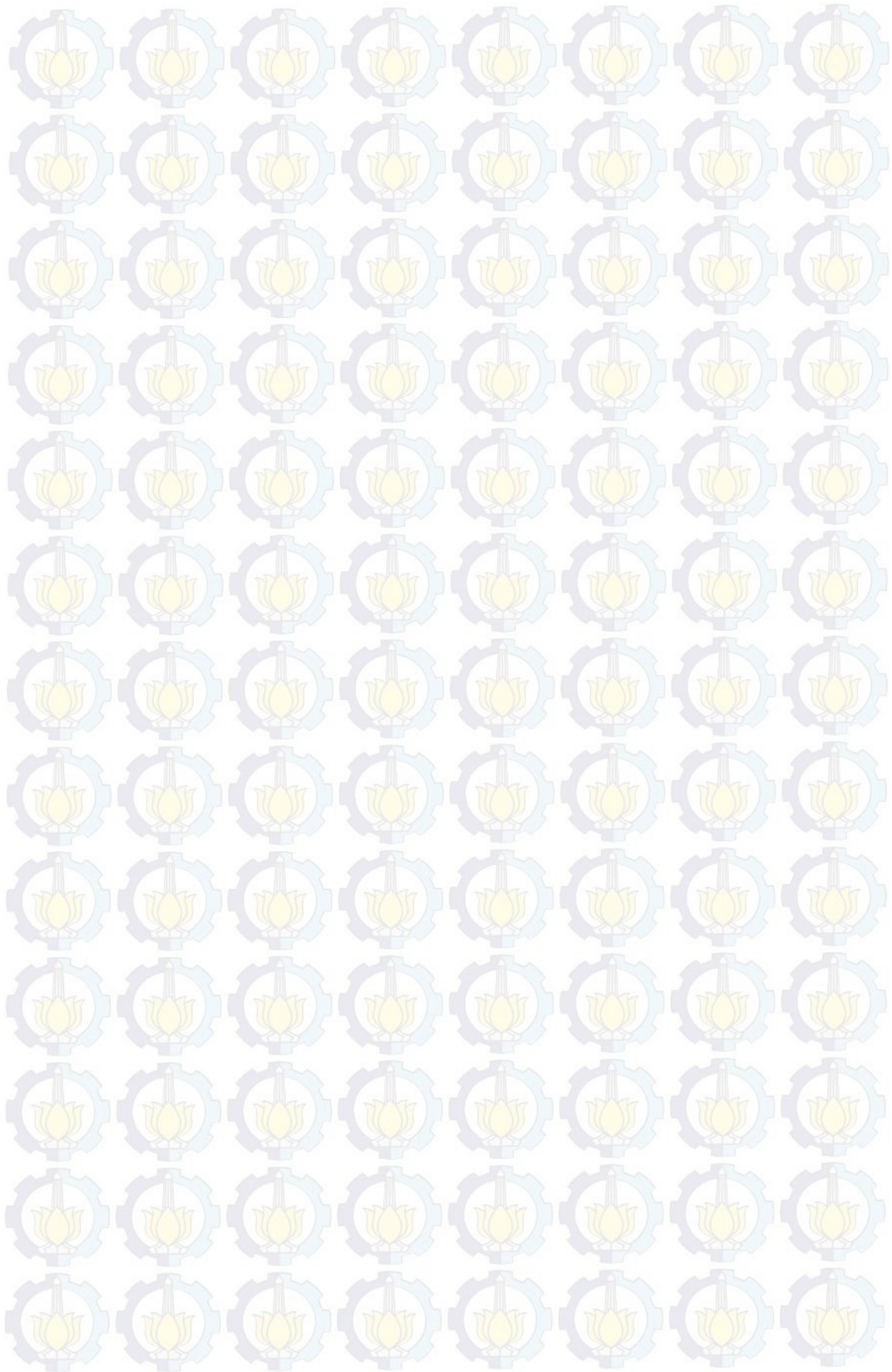






629	Jemb. Sepanjang	Surabaya	6/5/2009	12:20	2.8	7.51	16.385
630	Jemb. Sepanjang	Surabaya	8/6/2009	11:30	3.2	4.83	16.075
631	Jemb. Sepanjang	Surabaya	13/07/09	12:15	3.1	1.73	9.554
632	Jemb. Sepanjang	Surabaya	7/8/2009	10:30	3.4	4.95	16.282
633	Jemb. Sepanjang	Surabaya	10/9/2009	11:55	3.2	2.52	7.535
634	Jemb. Sepanjang	Surabaya	5/10/2009	11:40	2.5	3.09	10.485
635	Jemb. Sepanjang	Surabaya	5/11/2009	11:15	3.2	4.22	13.694
636	Jemb. Sepanjang	Surabaya	8/12/2009	10:45	3.2	3.51	9.761
637	Jemb. Sepanjang	Surabaya	06/01/2010	10:45	3.5	8.42	21.613
638	Jemb. Sepanjang	Surabaya	08/02/2010	12:55	2.8	6.73	24.408
639	Jemb. Sepanjang	Surabaya	03/03/2010	11:35	3.9	10.53	50.262
640	Jemb. Sepanjang	Surabaya	08/04/2010	11:30	3.9	3.14	10.023
641	Jemb. Sepanjang	Surabaya	10/05/2010	17:50	4	8.81	39.828
642	Jemb. Sepanjang	Surabaya	10/06/2010	12:10	3.5	3.94	17.41
643	Jemb. Sepanjang	Surabaya	06/07/2010	13:03	3.9	4.13	12.386
644	Jemb. Sepanjang	Surabaya	05/08/2010	13:35	3.41	6.71	20.665
645	Jemb. Sepanjang	Surabaya	07/09/2010	11:30	4.17	5.37	17.548
646	Jemb. Sepanjang	Surabaya	15/10/2010	11:46	3.34	6.75	37.548
647	Jemb. Sepanjang	Surabaya	09/11/2010	13:05	3.28	6.38	29.156
648	Jemb. Sepanjang	Surabaya	06/12/2010	12:02	4.13	5.19	24.12
649	Jemb. Sepanjang	Surabaya	10/01/2011	12:15	2.93	5.99	28.181
650	Jemb. Sepanjang	Surabaya	09/02/2011	11:13	3.47	4.82	13.636
651	Jemb. Sepanjang	Surabaya	07/03/2011	12:22	4.57	6.02	31.453
652	Jemb. Sepanjang	Surabaya	11/04/2011	14:00	3.4	7.52	47.607
653	Jemb. Sepanjang	Surabaya	11/05/2011	11:20	4.99	4.86	21.193
654	Jemb. Sepanjang	Surabaya	07/06/2011	13:50	4.24	3.79	17.276
655	Jemb. Sepanjang	Surabaya	05/07/2011	13:44	3.98	4.54	17.135
656	Jemb. Sepanjang	Surabaya	10/08/2011	10:55	4.71	3.36	14.467
657	Jemb. Sepanjang	Surabaya	14/09/2011	11:50	3.98	2.15	8.887
658	Jemb. Sepanjang	Surabaya	12/10/2011	11:50	4.22	2.74	10.52
659	Jemb. Sepanjang	Surabaya	10/11/2011	12:05	4.92	4.03	19.31
660	Jemb. Sepanjang	Surabaya	08/12/2011	14:23	4.01	3.34	14.14
661	Jemb. Sepanjang	Surabaya	09/01/2012	11:50	3.75	4.15	18.78
662	Jemb. Sepanjang	Surabaya	09/02/2012	11:55	3.8	3.48	11.94
663	Jemb. Sepanjang	Surabaya	12/03/2012	13:20	4.11	5.62	26.21
664	Jemb. Sepanjang	Surabaya	11/04/2012	11:30	3.78	2.88	13.59
665	Jemb. Sepanjang	Surabaya	09/05/2012	10:50	3.41	4.03	19.8
666	Jemb. Sepanjang	Surabaya	05/06/2012	16:10	3.41	8.451	18
667	Jemb. Sepanjang	Surabaya	12/07/2012	13:00	3.71	2.53	12.5
668	Jemb. Sepanjang	Surabaya	03/08/2012	12:50	3.41	2.65	8.091
669	Jemb. Sepanjang	Surabaya	10/09/2012	11:25	3.98	2.04	9.039
670	Jemb. Sepanjang	Surabaya	04/10/2012	11:40	3.89	4.84	24.58
671	Jemb. Sepanjang	Surabaya	08/11/2012	12:00	3.71	1.89	6.186
672	Jemb. Sepanjang	Surabaya	05/12/2012	12:15	4.71	4.53	26.43
673	Jemb. Sepanjang	Surabaya	07/01/2013	13:05	3.91	5.57	31.26



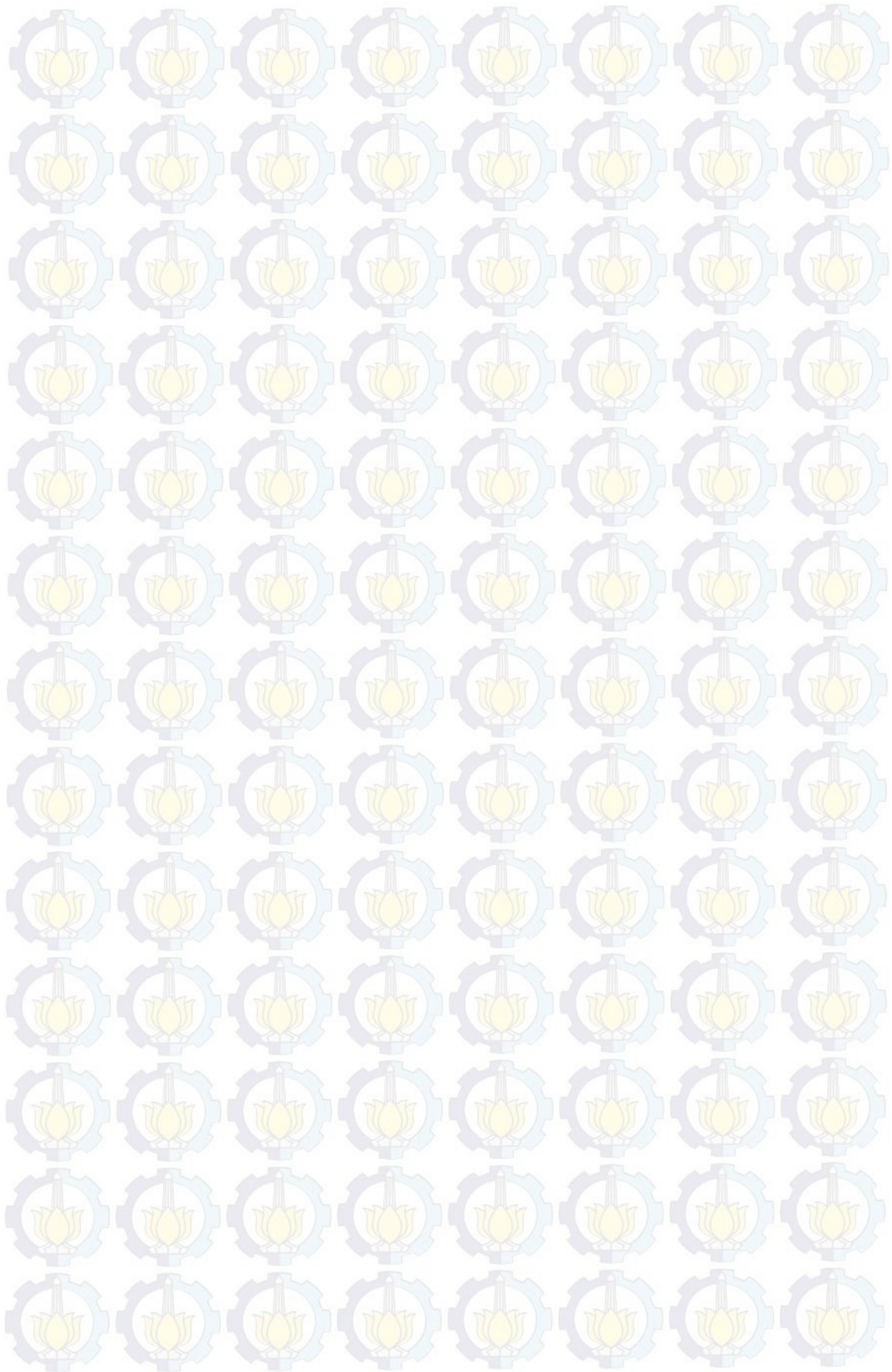




674	Jemb. Sepanjang	Surabaya	05/02/2013	11:20	3.8	5.8	36.76
675	Jemb. Sepanjang	Surabaya	05/03/2013	11:55	4.23	8.1	47.19
676	Jemb. Sepanjang	Surabaya	05/04/2013	11:25	3.51	3.29	16.11
677	Jemb. Sepanjang	Surabaya	07/05/2013	12:35	3.29	6.03	16.41
678	Jemb. Sepanjang	Surabaya	07/06/2013	13:45	3.83	4.75	33.87
679	Jemb. Sepanjang	Surabaya	05/07/2013	12:05	4.33	2.8	16.54
680	Jemb. Sepanjang	Surabaya	13/08/2013	11:00	4.31	3.51	12.33
681	Jemb. Sepanjang	Surabaya	05/09/2013	12:00	3.21	3.53	20.81
682	Jemb. Sepanjang	Surabaya	07/10/2013	11:38	3.61	4.85	22.11
683	Jemb. Sepanjang	Surabaya	11/11/2013	11:15	3.71	3.62	9.376
684	Jemb. Sepanjang	Surabaya	05/12/2013	10:15	3.51	3.39	12.89
685	Bend. Gunungsari	Surabaya	8/1/2008	11:45	3.1	5.2	17.9
686	Bend. Gunungsari	Surabaya	12/2/2008	12:40	2.9	3.5	17.5
687	Bend. Gunungsari	Surabaya	11/3/2008	11:30	3.9	7.3	36.6
688	Bend. Gunungsari	Surabaya	7/4/2008	13:15	2.4	3.6	22
689	Bend. Gunungsari	Surabaya	6/5/2008	13:00	4.2	5.6	24.7
690	Bend. Gunungsari	Surabaya	2/6/2008	14:15	1.6	2.7	11
691	Bend. Gunungsari	Surabaya	1/7/2008	14:25	3	6.1	13.6
692	Bend. Gunungsari	Surabaya	7/8/2008	12:45	2.9	3.5	11.7
693	Bend. Gunungsari	Surabaya	2/9/2008	12:35	3	3.5	13.3
694	Bend. Gunungsari	Surabaya	9/10/2008	13:25	3	4.2	9
695	Bend. Gunungsari	Surabaya	10/11/2008	13:00	3.6	1.8	9.5
696	Bend. Gunungsari	Surabaya	4/12/2008	12:20	2.4	6.7	28.4
697	Bend. Gunungsari	Surabaya	7/1/2009	13:00	3.2	4.6	15.4
698	Bend. Gunungsari	Surabaya	5/2/2009	13:25	4.9	7.92	26.168
699	Bend. Gunungsari	Surabaya	5/3/2009	12:50	4	7.95	44.851
700	Bend. Gunungsari	Surabaya	6/4/2009	13:20	3.2	6.17	32.112
701	Bend. Gunungsari	Surabaya	6/5/2009	12:45	2.2	6.18	15.713
702	Bend. Gunungsari	Surabaya	8/6/2009	12:00	3	3.23	10.485
703	Bend. Gunungsari	Surabaya	13/07/09	13:00	3	2.41	11.313
704	Bend. Gunungsari	Surabaya	7/8/2009	11:00	3.2	3.22	12.297
705	Bend. Gunungsari	Surabaya	10/9/2009	12:15	3.5	2.64	9.346
706	Bend. Gunungsari	Surabaya	5/10/2009	12:10	3.8	2.79	9.398
707	Bend. Gunungsari	Surabaya	5/11/2009	12:00	3	1.92	6.552
708	Bend. Gunungsari	Surabaya	8/12/2009	11:10	3	3.21	9.761
709	Bend. Gunungsari	Surabaya	06/01/2010	11:50	3.3	5.76	12.4
710	Bend. Gunungsari	Surabaya	08/02/2010	13:16	2.1	4.85	11.003
711	Bend. Gunungsari	Surabaya	03/03/2010	12:15	3.5	3.19	13.557
712	Bend. Gunungsari	Surabaya	08/04/2010	14:00	3.4	3.07	9.261
713	Bend. Gunungsari	Surabaya	10/05/2010	16:42	3.8	6.03	28.37
714	Bend. Gunungsari	Surabaya	10/06/2010	12:42	3.3	3.47	13.268
715	Bend. Gunungsari	Surabaya	06/07/2010	13:30	4.2	3.91	12.749
716	Bend. Gunungsari	Surabaya	05/08/2010	14:02	4.07	4.18	16.125
717	Bend. Gunungsari	Surabaya	07/09/2010	12:00	5.14	4.45	14.218
718	Bend. Gunungsari	Surabaya	15/10/2010	15:59	2.86	9.02	46.499



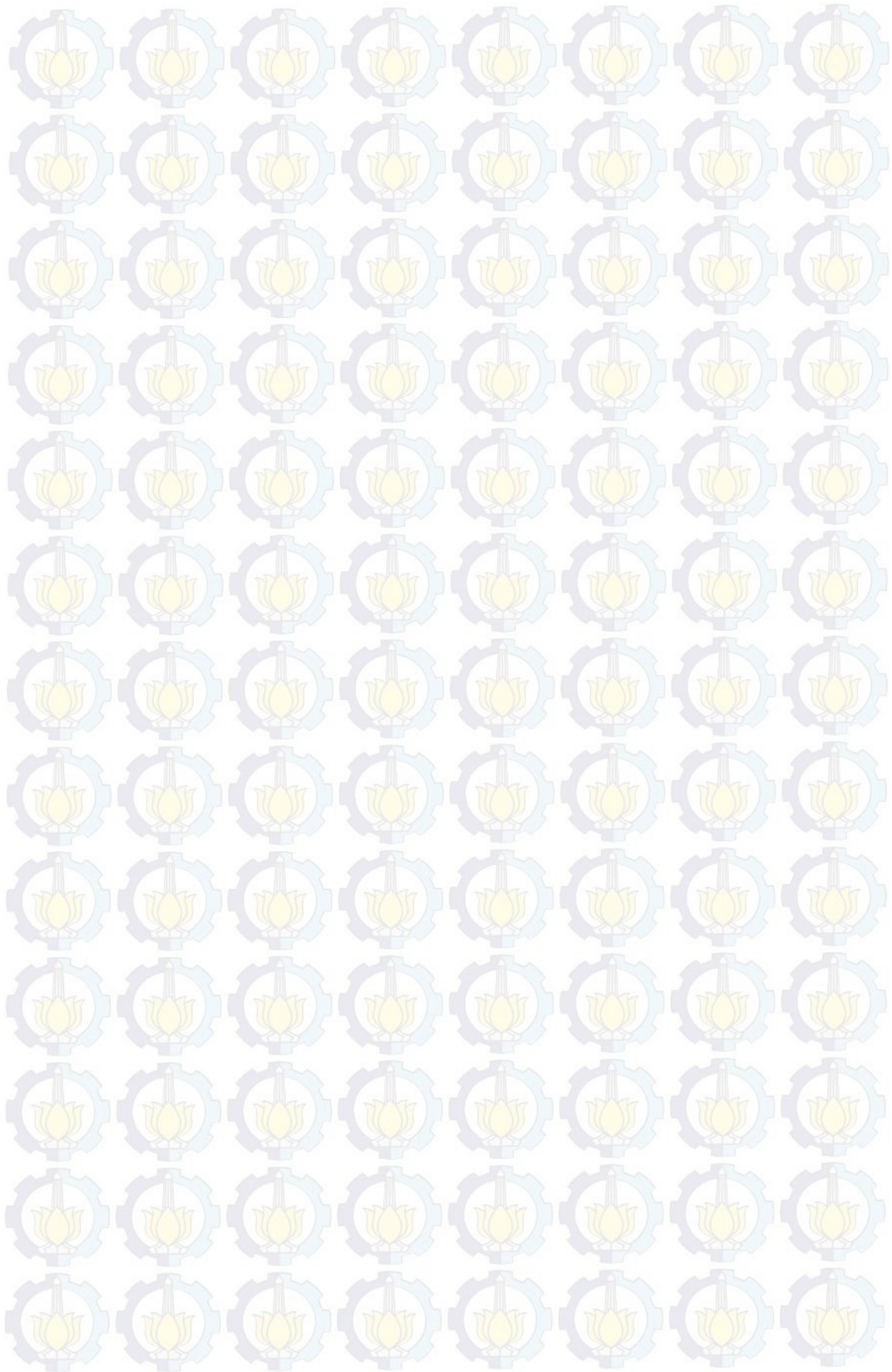






719	Bend. Gunungsari	Surabaya	09/11/2010	13:40	2.94	5.39	30.188
720	Bend. Gunungsari	Surabaya	06/12/2010	13:15	3.42	6.47	28.722
721	Bend. Gunungsari	Surabaya	10/01/2011	12:45	3.39	6.47	38.615
722	Bend. Gunungsari	Surabaya	09/02/2011	13:03	3.39	3.38	15.579
723	Bend. Gunungsari	Surabaya	07/03/2011	14:00	3.98	4.77	19.306
724	Bend. Gunungsari	Surabaya	11/04/2011	13:13	3.69	4.95	20.058
725	Bend. Gunungsari	Surabaya	11/05/2011	11:55	3.92	4.18	18.099
726	Bend. Gunungsari	Surabaya	07/06/2011	14:15	5.9	3.41	14.045
727	Bend. Gunungsari	Surabaya	05/07/2011	13:20	3.72	3.18	10.321
728	Bend. Gunungsari	Surabaya	10/08/2011	11:20	3.41	2.93	11.589
729	Bend. Gunungsari	Surabaya	14/09/2011	12:45	3.33	2.3	9.861
730	Bend. Gunungsari	Surabaya	12/10/2011	13:20	3.11	2.31	10.16
731	Bend. Gunungsari	Surabaya	10/11/2011	12:35	3.91	2.47	11.66
732	Bend. Gunungsari	Surabaya	08/12/2011	15:00	3.45	3.88	14.09
733	Bend. Gunungsari	Surabaya	09/01/2012	12:25	3.29	4.36	18.01
734	Bend. Gunungsari	Surabaya	09/02/2012	12:55	3.19	2.42	8.189
735	Bend. Gunungsari	Surabaya	12/03/2012	13:50	4.21	5.31	15.92
736	Bend. Gunungsari	Surabaya	11/04/2012	11:56	3.21	2.86	11.81
737	Bend. Gunungsari	Surabaya	09/05/2012	13:05	3.23	4.29	21.41
738	Bend. Gunungsari	Surabaya	05/06/2012	16:35	3.13	11.94	32
739	Bend. Gunungsari	Surabaya	12/07/2012	13:25	3.12	2.52	7.585
740	Bend. Gunungsari	Surabaya	03/08/2012	13:18	3.15	2.38	5.413
741	Bend. Gunungsari	Surabaya	10/09/2012	15:15	3.12	2.05	9.052
742	Bend. Gunungsari	Surabaya	04/10/2012	12:10	3.11	3.1	13.19
743	Bend. Gunungsari	Surabaya	08/11/2012	15:45	3.11	3.9	15.66
744	Bend. Gunungsari	Surabaya	05/12/2012	12:40	3.99	3.41	16.75
745	Bend. Gunungsari	Surabaya	07/01/2013	14:00	3.87	4.35	17
746	Bend. Gunungsari	Surabaya	05/02/2013	13:05	3.71	4.77	20.9
747	Bend. Gunungsari	Surabaya	05/03/2013	12:25	4.1	3.28	20.8
748	Bend. Gunungsari	Surabaya	05/04/2013	11:50	3.31	4.18	13.2
749	Bend. Gunungsari	Surabaya	07/05/2013	13:05	2.62	5.38	16.79
750	Bend. Gunungsari	Surabaya	07/06/2013	15:45	3.41	5	36.67
751	Bend. Gunungsari	Surabaya	05/07/2013	16:20	3.08	2.87	15.83
752	Bend. Gunungsari	Surabaya	13/08/2013	11:35	3.31	3.31	11.4
753	Bend. Gunungsari	Surabaya	05/09/2013	12:20	3.12	3.11	13.15
754	Bend. Gunungsari	Surabaya	07/10/2013	13:05	3.31	5.19	22.9
755	Bend. Gunungsari	Surabaya	11/11/2013	11:35	3.44	3.39	10.98
756	Bend. Gunungsari	Surabaya	05/12/2013	10:35	3.3	3.52	14.25
757	Ngagel / Jagir	Surabaya	3/1/2008	12:15	3.1	9.6	22.1
758	Ngagel / Jagir	Surabaya	15/01/08	11:15	3	8.7	20.3
759	Ngagel / Jagir	Surabaya	4/2/2008	12:20	2.7	6.5	19.9
760	Ngagel / Jagir	Surabaya	18/02/08	12:33	1.7	2.2	11.2
761	Ngagel / Jagir	Surabaya	5/3/2008	11:10	2.2	7.1	40.4
762	Ngagel / Jagir	Surabaya	17/03/08	11:40	3.5	6.7	36.2
763	Ngagel / Jagir	Surabaya	1/4/2008	12:30	3	7.9	46.8



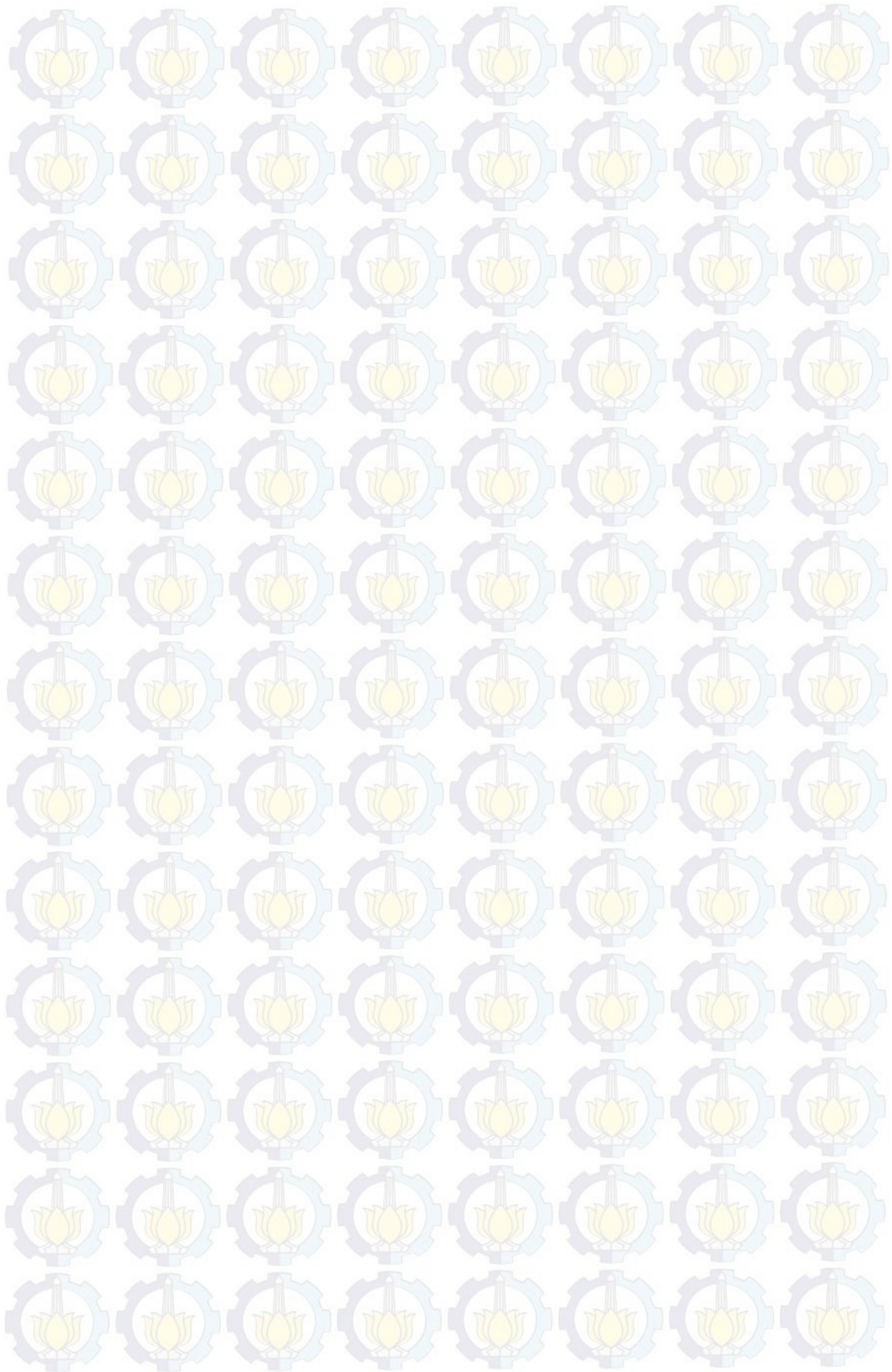




764	Ngagel / Jagir	Surabaya	14/04/08	13:32	2.8	7.7	18.2
765	Ngagel / Jagir	Surabaya	6/5/2008	13:35	3.9	5.3	19.2
766	Ngagel / Jagir	Surabaya	14/05/08	13:35	3	-1.6	7.7
767	Ngagel / Jagir	Surabaya	2/6/2008	14:35	2.4	2.8	12
768	Ngagel / Jagir	Surabaya	16/06/08	14:10	2.2	9.3	18.9
769	Ngagel / Jagir	Surabaya	1/7/2008	14:35	2.9	4.6	10.9
770	Ngagel / Jagir	Surabaya	14/07/08	13:05	3	6.8	14.9
771	Ngagel / Jagir	Surabaya	4/8/2008	12:10	3	5	10.7
772	Ngagel / Jagir	Surabaya	20/08/08	12:00	2.9	7	14.3
773	Ngagel / Jagir	Surabaya	1/9/2008	13:00	2.8	3.6	18.1
774	Ngagel / Jagir	Surabaya	12/9/2008	12:00	2.3	3.3	12.5
775	Ngagel / Jagir	Surabaya	7/10/2008	10:30	3	6.6	26.8
776	Ngagel / Jagir	Surabaya	21/10/08	10:30	2.9	2.7	9.4
777	Ngagel / Jagir	Surabaya	5/11/2008	12:15	3	8.1	20.4
778	Ngagel / Jagir	Surabaya	19/11/08	15:00	3.8	3.8	18.4
779	Ngagel / Jagir	Surabaya	1/12/2008	13:30	3	4.9	12
780	Ngagel / Jagir	Surabaya	15/12/08	11:15	3	14.1	47
781	Ngagel / Jagir	Surabaya	5/1/2009	10:30	3	5.6	16.8
782	Ngagel / Jagir	Surabaya	19/01/09	11:15	3	5.7	11.7
783	Ngagel / Jagir	Surabaya	2/2/2009	12:40	3.4	5.88	22.066
784	Ngagel / Jagir	Surabaya	17/02/09	12:45	4.3	5.76	11.465
785	Ngagel / Jagir	Surabaya	3/3/2009	12:55	3.1	5.68	18.843
786	Ngagel / Jagir	Surabaya	16/03/09	13:00	3.1	5.23	12.069
787	Ngagel / Jagir	Surabaya	1/4/2009	11:30	3.1	4.13	17.41
788	Ngagel / Jagir	Surabaya	15/04/09	11:40	3	5.61	15.127
789	Ngagel / Jagir	Surabaya	4/5/2009	11:20	3.1	4.35	10.175
790	Ngagel / Jagir	Surabaya	15/05/09	13:45	3.9	2.36	10.382
791	Ngagel / Jagir	Surabaya	2/6/2009	10:40	2.6	3.36	11.261
792	Ngagel / Jagir	Surabaya	15/06/09	13:15	3.5	4.64	17.524
793	Ngagel / Jagir	Surabaya	1/7/2009	13:35	3.3	4.05	11.417
794	Ngagel / Jagir	Surabaya	21/07/09	12:10	3	2.83	10.071
795	Ngagel / Jagir	Surabaya	3/8/2009	11:40	3	3.18	11.106
796	Ngagel / Jagir	Surabaya	19/08/09	13:10	4.2	3.48	10.175
797	Ngagel / Jagir	Surabaya	1/9/2009	12:00	3	4.08	16.282
798	Ngagel / Jagir	Surabaya	10/9/2009	12:45	3.3	-1.75	6.241
799	Ngagel / Jagir	Surabaya	5/10/2009	13:00	2.7	3.32	13.073
800	Ngagel / Jagir	Surabaya	19/10/09	12:10	3.1	2.48	8.26
801	Ngagel / Jagir	Surabaya	2/11/2009	11:40	3	2.08	7.587
802	Ngagel / Jagir	Surabaya	12/11/2009	10:15	3	3.06	10.175
803	Ngagel / Jagir	Surabaya	1/12/2009	10:10	3.1	6.94	22.43
804	Ngagel / Jagir	Surabaya	15/12/09	14:30	0.74	3.91	19.025
805	Ngagel / Jagir	Surabaya	04/01/2010	11:00	3.6	3.86	24.097
806	Ngagel / Jagir	Surabaya	18/01/2010	12:00	3	3.96	14.677
807	Ngagel / Jagir	Surabaya	01/02/2010	12:00	3.1	3.3	14.263
808	Ngagel / Jagir	Surabaya	15/02/2010	11:30	3.2	8.55	26.116





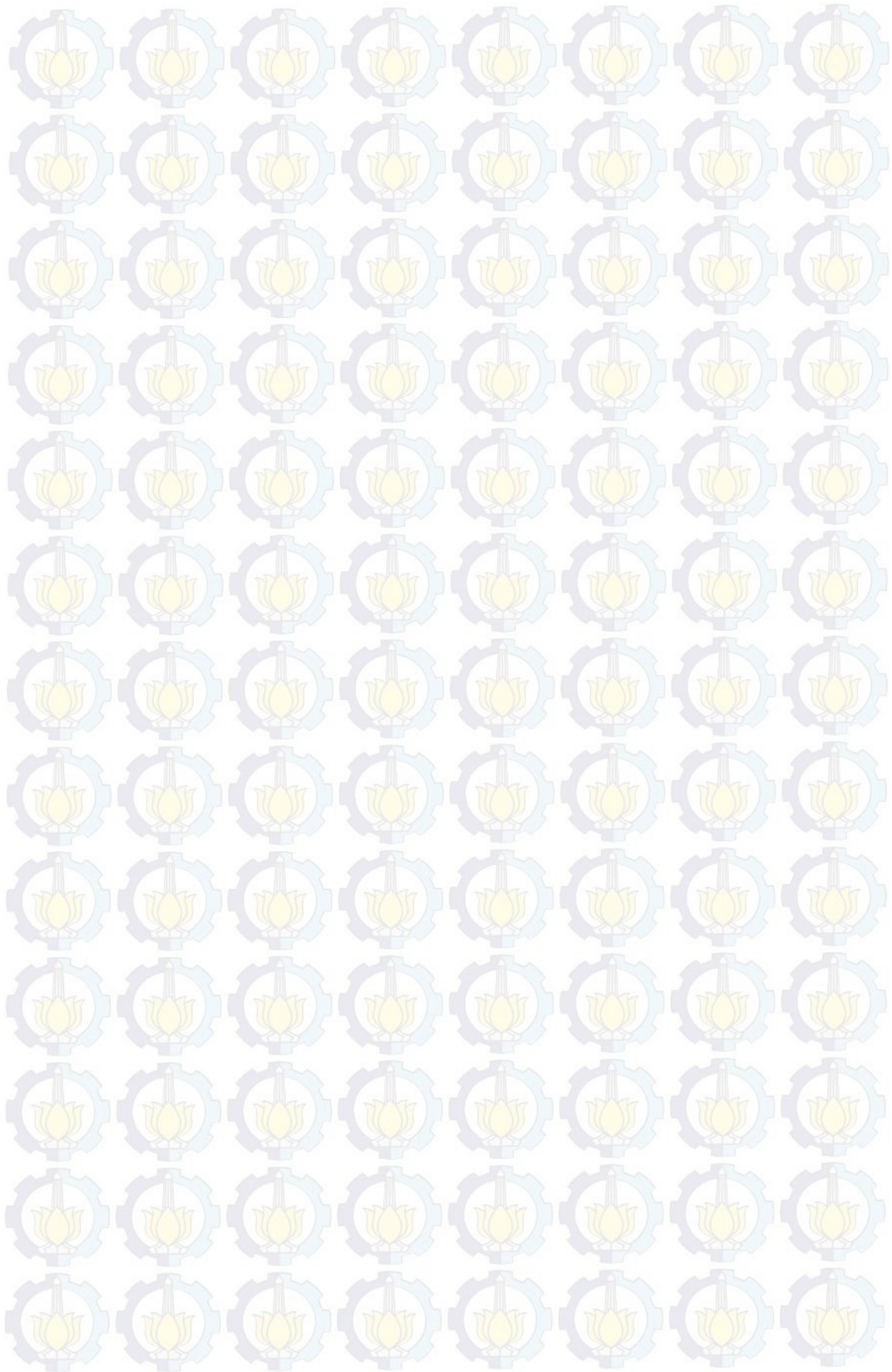




809	Ngagel / Jagir	Surabaya	01/03/2010	12:10	3.1	4.92	22.701
810	Ngagel / Jagir	Surabaya	15/03/2010	10:15	3.1	5.78	15.942
811	Ngagel / Jagir	Surabaya	05/04/2010	11:40	3.4	3.7	14.909
812	Ngagel / Jagir	Surabaya	19/04/2010	14:45	4.5	14.85	42.976
813	Ngagel / Jagir	Surabaya	03/05/2010	12:45	3.1	3.59	12.004
814	Ngagel / Jagir	Surabaya	17/05/2010	13:02	3.5	6.57	29.083
815	Ngagel / Jagir	Surabaya	01/06/2010	10:50	3.1	3.12	13.114
816	Ngagel / Jagir	Surabaya	15/06/2010	13:30	3.2	4.07	19.401
817	Ngagel / Jagir	Surabaya	01/07/2010	15:17	3.5	3.93	12.201
818	Ngagel / Jagir	Surabaya	16/07/2010	11:50	3.7	3.23	9.355
819	Ngagel / Jagir	Surabaya	02/08/2010	15:17	4.2	4.85	13.63
820	Ngagel / Jagir	Surabaya	16/08/2010	11:30	3.23	3.61	11.112
821	Ngagel / Jagir	Surabaya	02/09/2010	10:30	4.67	2.84	10.644
822	Ngagel / Jagir	Surabaya	14/09/2010	12:35	3.95	4.81	18.184
823	Ngagel / Jagir	Surabaya	04/10/2010	12:30	2.91	3.55	11.781
824	Ngagel / Jagir	Surabaya	19/10/2010	12:30	2.1	6.22	32.29
825	Ngagel / Jagir	Surabaya	01/11/2010	13:35	5.67	8.32	48.73
826	Ngagel / Jagir	Surabaya	16/11/2010	12:20	2.21	4.04	15.263
827	Ngagel / Jagir	Surabaya	01/12/2010	10:15	3.1	5.15	24.267
828	Ngagel / Jagir	Surabaya	17/12/2010	13:50	2.92	4.45	21.071
829	Ngagel / Jagir	Surabaya	03/01/2011	11:10	3.81	6.13	29.898
830	Ngagel / Jagir	Surabaya	17/01/2011	11:10	3.29	3.78	13.701
831	Ngagel / Jagir	Surabaya	01/02/2011	11:10	3.61	6.72	21.973
832	Ngagel / Jagir	Surabaya	16/02/2011	12:30	3.92	5.93	23.676
833	Ngagel / Jagir	Surabaya	01/03/2011	11:35	3.24	6.72	35.612
834	Ngagel / Jagir	Surabaya	15/03/2011	12:50	3.11	3.54	15.771
835	Ngagel / Jagir	Surabaya	01/04/2011	10:59	3.72	9.31	41.071
836	Ngagel / Jagir	Surabaya	14/04/2011	12:00	3.71	6.48	33.637
837	Ngagel / Jagir	Surabaya	02/05/2011	13:47	3.92	8.44	43.772
838	Ngagel / Jagir	Surabaya	18/05/2011	14:40	3.14	4.71	16.193
839	Ngagel / Jagir	Surabaya	01/06/2011	10:57	3.12	2.29	8.648
840	Ngagel / Jagir	Surabaya	15/06/2011	12:05	3.81	3.06	11.612
841	Ngagel / Jagir	Surabaya	01/07/2011	11:00	3.21	4.7	15.031
842	Ngagel / Jagir	Surabaya	18/07/2011	12:40	3.16	3.19	13.421
843	Ngagel / Jagir	Surabaya	01/08/2011	14:00	3.2	4.55	17.83
844	Ngagel / Jagir	Surabaya	15/08/2011	11:55	3.34	1.41	9.518
845	Ngagel / Jagir	Surabaya	06/09/2011	13:25	3.01	3.97	10.437
846	Ngagel / Jagir	Surabaya	16/09/2011	11:15	3.01	2.11	7.849
847	Ngagel / Jagir	Surabaya	03/10/2011	12:59	3.1	3.36	13.37
848	Ngagel / Jagir	Surabaya	14/10/2011	11:05	3.1	3.81	11.72
849	Ngagel / Jagir	Surabaya	01/11/2011	13:01	3.23	4.34	17.59
850	Ngagel / Jagir	Surabaya	15/11/2011	12:20	3.44	2.93	11.96
851	Ngagel / Jagir	Surabaya	05/12/2011	13:25	5.07	4.26	26.35
852	Ngagel / Jagir	Surabaya	19/12/2011	13:10	3.62	5.79	16.59
853	Ngagel / Jagir	Surabaya	03/01/2012	12:45	3.68	3.39	18.58







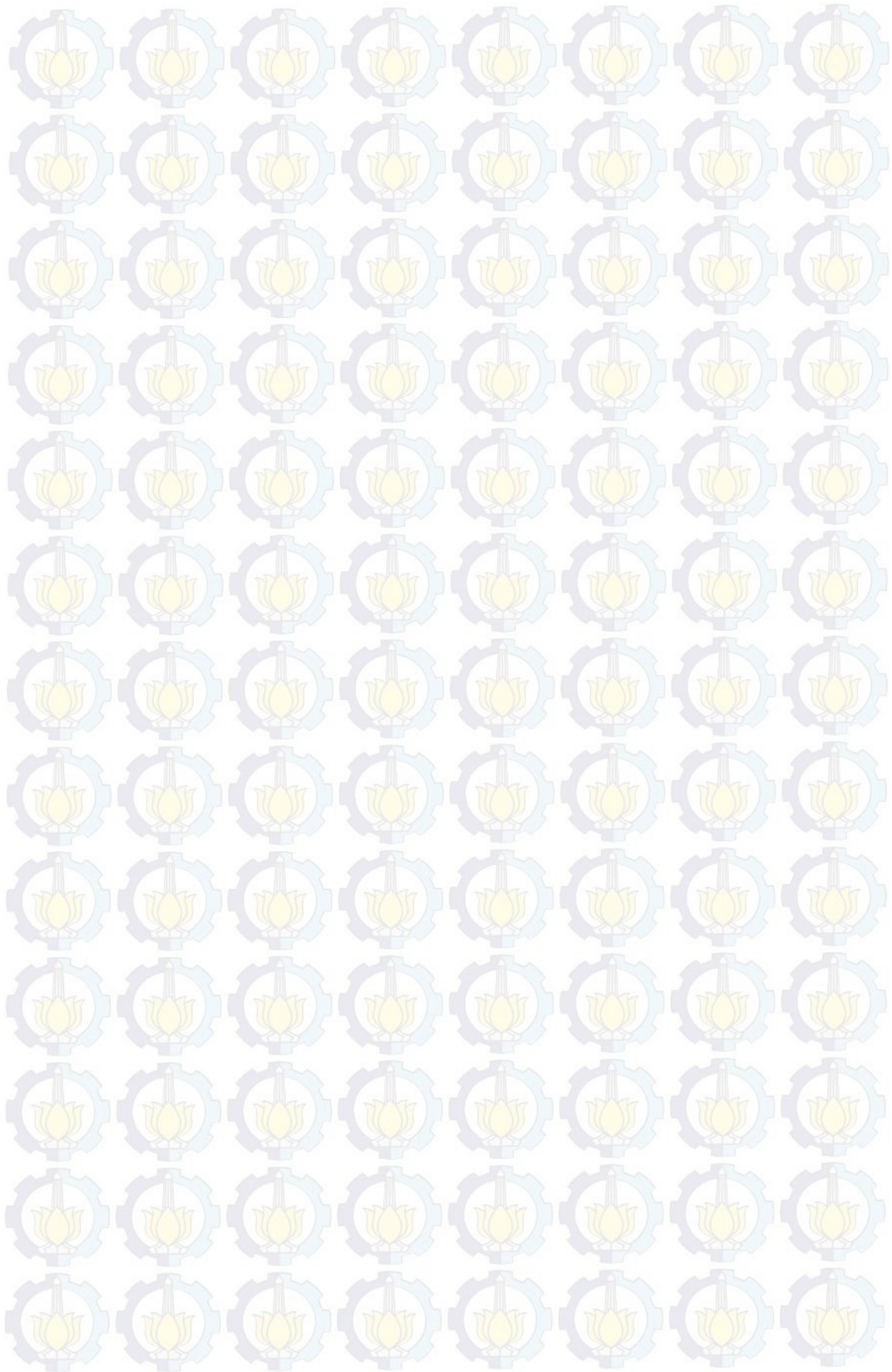


854	Ngagel / Jagir	Surabaya	17/01/2012	14:05	3.25	6.4	32.03
855	Ngagel / Jagir	Surabaya	01/02/2012	12:45	3.33	3.8	21.49
856	Ngagel / Jagir	Surabaya	16/02/2012	13:10	3.41	4.98	24.34
857	Ngagel / Jagir	Surabaya	01/03/2012	11:25	4.71	5.04	19.04
858	Ngagel / Jagir	Surabaya	15/03/2012	12:11	3.27	1.44	7.902
859	Ngagel / Jagir	Surabaya	02/04/2012	11:25	4.67	4.44	23.91
860	Ngagel / Jagir	Surabaya	16/04/2012	12:15	3.21	2.61	7.053
861	Ngagel / Jagir	Surabaya	01/05/2012	13:15	3.02	6.66	34.99
862	Ngagel / Jagir	Surabaya	15/05/2012	12:30	3.62	2.71	11.76
863	Ngagel / Jagir	Surabaya	01/06/2012	13:15	3.59	8.086	22
864	Ngagel / Jagir	Surabaya	15/06/2012	14:30	3.52	13.58	36
865	Ngagel / Jagir	Surabaya	02/07/2012	13:40	2.97	3.47	15.24
866	Ngagel / Jagir	Surabaya	17/07/2012	11:10	3.09	2.3	12.8
867	Ngagel / Jagir	Surabaya	01/08/2012	12:40	3.25	3.2	9.896
868	Ngagel / Jagir	Surabaya	13/08/2012	13:50	3.13	3.73	3.13
869	Ngagel / Jagir	Surabaya	03/09/2012	13:00	3.1	3.28	12.55
870	Ngagel / Jagir	Surabaya	14/09/2012	15:10	3.05	2.65	13.37
871	Ngagel / Jagir	Surabaya	03/10/2012	13:20	3.22	2.23	11.42
872	Ngagel / Jagir	Surabaya	15/10/2012	13:30	3.12	2.05	8.299
873	Ngagel / Jagir	Surabaya	01/11/2012	13:45	3.1	3.94	13.24
874	Ngagel / Jagir	Surabaya	14/11/2012	13:20	3.56	3.53	17.97
875	Ngagel / Jagir	Surabaya	03/12/2012	14:25	3.99	4.79	22.88
876	Ngagel / Jagir	Surabaya	14/12/2012	10:20	3.81	3.54	23.85
877	Ngagel / Jagir	Surabaya	02/01/2013	12:30	3.86	6.41	37.95
878	Ngagel / Jagir	Surabaya	15/01/2013	12:50	3.76	5.64	30.18
879	Ngagel / Jagir	Surabaya	01/02/2013	16:30	3.97	4.25	20.01
880	Ngagel / Jagir	Surabaya	19/02/2013	11:40	3.2	4.63	20.35
881	Ngagel / Jagir	Surabaya	01/03/2013	11:05	2.9	3.27	19.23
882	Ngagel / Jagir	Surabaya	15/03/2013	14:30	3.21	4.25	24.16
883	Ngagel / Jagir	Surabaya	01/04/2013	10:30	3.21	15.12	38.15
884	Ngagel / Jagir	Surabaya	15/04/2013	14:05	3.11	3.43	18.14
885	Ngagel / Jagir	Surabaya	01/05/2013	12:11	2.76	3.26	11.65
886	Ngagel / Jagir	Surabaya	15/05/2013	11:30	3.21	8.81	42.25
887	Ngagel / Jagir	Surabaya	03/06/2013	14:10	3.15	5.32	25.95
888	Ngagel / Jagir	Surabaya	14/06/2013	12:30	3.01	1.98	7.267
889	Ngagel / Jagir	Surabaya	01/07/2013	13:00	2.99	3.18	11.15
890	Ngagel / Jagir	Surabaya	15/07/2013	12:50	3.01	2.24	16.24
891	Ngagel / Jagir	Surabaya	01/08/2013	11:50	3.01	3.69	12.14
892	Ngagel / Jagir	Surabaya	16/08/2013	10:20	3.03	2.89	8.016
893	Ngagel / Jagir	Surabaya	02/09/2013	12:30	3.18	3.4	16.23
894	Ngagel / Jagir	Surabaya	16/09/2013	12:15	4.22	3.54	14.98
895	Ngagel / Jagir	Surabaya	01/10/2013	12:00	3.1	4.12	21.75
896	Ngagel / Jagir	Surabaya	16/10/2013	12:30	3	3.23	17.9
897	Ngagel / Jagir	Surabaya	01/11/2013	12:30	3.23	3.8	14.82
898	Ngagel / Jagir	Surabaya	14/11/2013	9:35	3.6	3.47	17.05

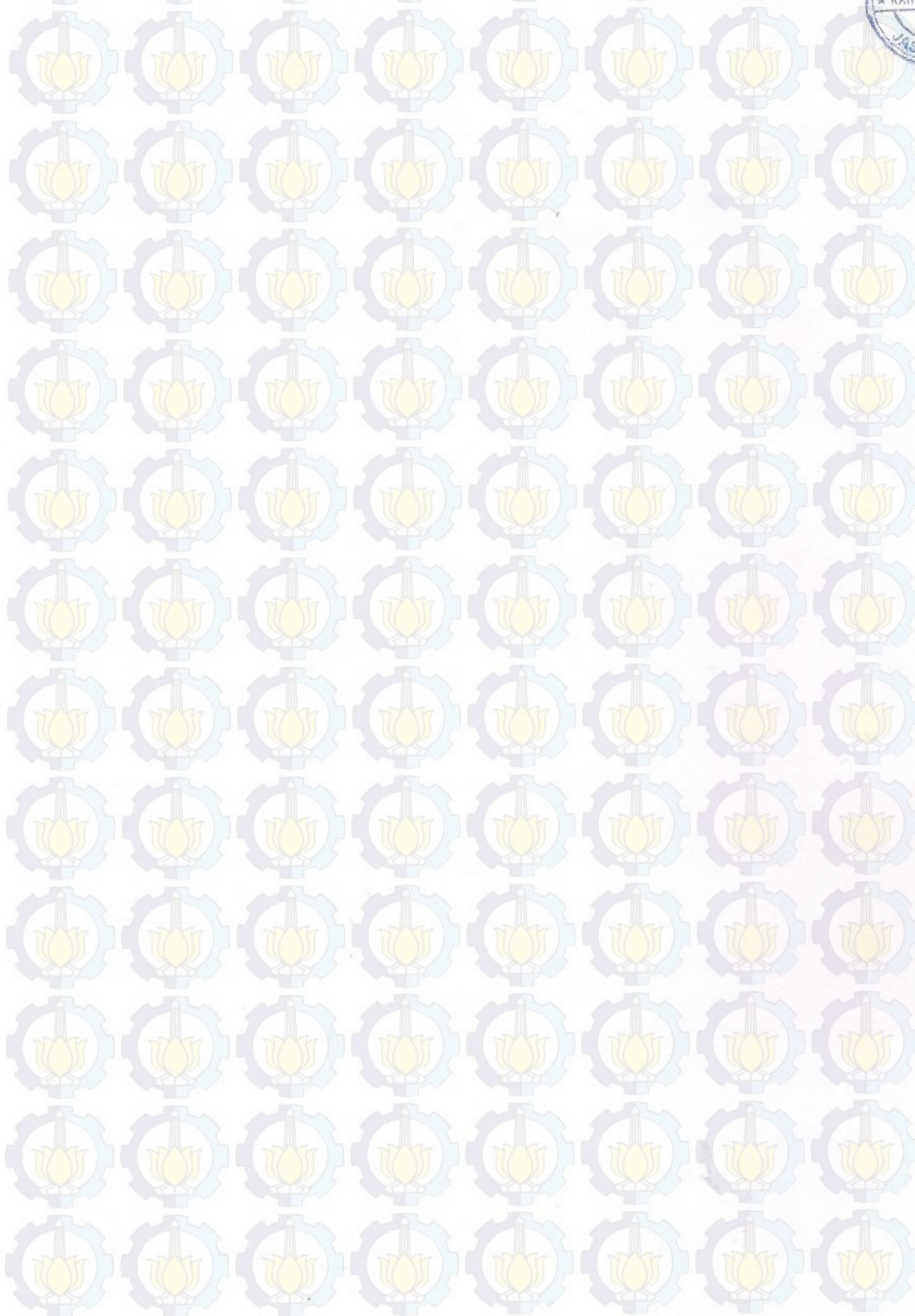


Handwritten signature and date: 14/11/13

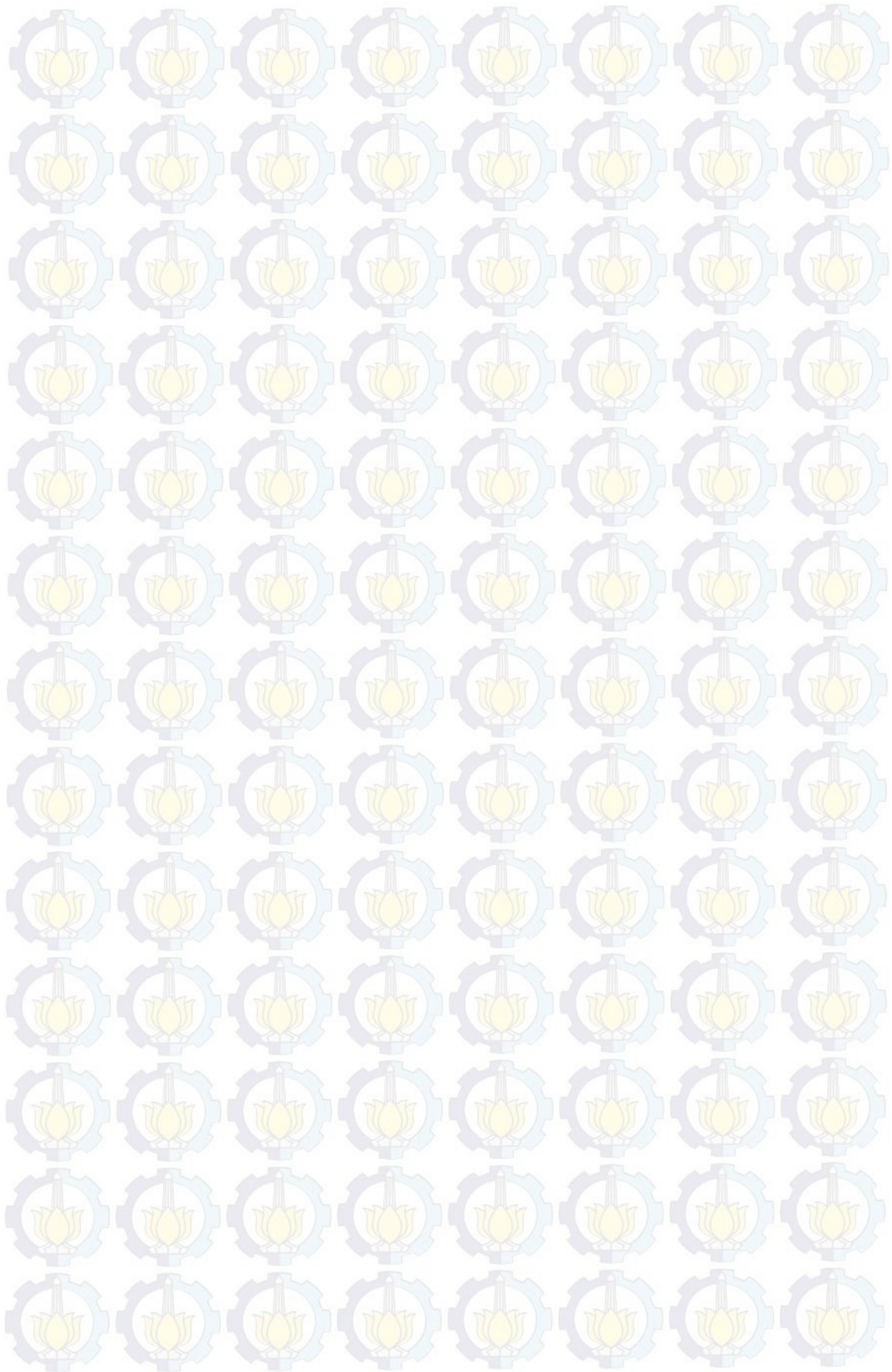




899	Ngagel / Jagir	Surabaya	02/12/2013	13:00	3.22	3.66	14.12
900	Ngagel / Jagir	Surabaya	13/12/2013	10:40	3.31	3.61	22.45







## LAMPIRAN 2

### PERHITUNGAN INDEKS PENCEMARAN

#### 1. Perhitungan dan Fuzzifikasi Nilai Indeks Pencemaran Jan'08 – Jun'13 Kali Surabaya pada Titik Pantau Sepanjang

Ci DO	Ci BOD	Ci COD	Lij DO	Lij BOD	Lij COD	Ci/Lij DO	Ci/Lij BOD	Ci/Lij COD	CLb DO	CLb BOD	CLb COD	CLR	CLM	IP	KlasIP	Low FIP	Med FIP	Up FIP
3,7	8,9	18,3	4	3	25	0,925	2,9666 67	0,732	0,925	3,361 344	0,732	1,672 781	3,361 344	2,654 885	2	2	2,654 885	3
2,5	3,7	11,1	4	3	25	0,625	1,2333 33	0,444	0,625	1,455 402	0,444	0,841 467	1,455 402	1,188 752	1	1	1,188 752	2
4,2	9,3	48	4	3	25	1,05	3,1	1,92	1,105 946	3,456 808	2,416 506	2,326 42	3,456 808	2,946 333	2	2	2,946 333	3
4,1	4	20,8	4	3	25	1,025	1,3333 33	0,832	1,053 619	1,624 694	0,832	1,170 104	1,624 694	1,415 764	1	1	1,415 764	2
4,4	7,3	24,9	4	3	25	1,1	2,4333 33	0,996	1,206 963	2,931 008	0,996	1,711 324	2,931 008	2,399 941	2	2	2,399 941	3
3,8	2,3	12	4	3	25	0,95	0,7666 67	0,48	0,95	0,766 667	0,48	0,732 222	0,95	0,848 13	0	0	0,848 13	1
2,9	6,9	14,3	4	3	25	0,725	2,3	0,572	0,725	2,808 639	0,572	1,368 546	2,808 639	2,209 228	2	2	2,209 228	3
3,1	3,2	10,2	4	3	25	0,775	1,0666 67	0,408	0,775	1,140 144	0,408	0,774 381	1,140 144	0,974 575	0	0	0,974 575	1
3,1	4,7	18,4	4	3	25	0,775	1,5666 67	0,736	0,775	1,974 883	0,736	1,161 961	1,974 883	1,620 234	1	1	1,620 234	2
3,3	6,4	12,5	4	3	25	0,825	2,1333 33	0,5	0,825	2,645 294	0,5	1,323 431	2,645 294	2,091 536	2	2	2,091 536	3
3,9	1,8	11,6	4	3	25	0,975	0,6	0,464	0,975	0,6	0,464	0,679 667	0,975	0,840 408	0	0	0,840 408	1



Ci DO	Ci BOD	Ci COD	Lij DO	Lij BOD	Lij COD	Ci/Lij DO	Ci/Lij BOD	Ci/Lij COD	CLb DO	CLb BOD	CLb COD	CLR	CLM	IP	Kla sIP	Low FIP	Med FIP	Up FIP
3,8	3	9,1	4	3	25	0,95	1	0,364	0,95	1	0,364	0,771 333	1	0,893 016	0	0	0,893 016	1
3,3	5	14	4	3	25	0,825	1,6666 67	0,56	0,825	2,109 244	0,56	1,164 748	2,109 244	1,703 753	1	1	1,703 753	2
4,8	7,17	26,0 08	4	3	25	1,2	2,39	1,0403 2	1,395 906	2,891 99	1,085 835	1,791 243	2,891 99	2,405 427	2	2	2,405 427	3
4	6,91	40,2 33	4	3	25	1	2,3033 33	1,6093 2	1	2,811 784	2,033 212	1,948 332	2,811 784	2,418 897	2	2	2,418 897	3
3,9	5,17	25,2 12	4	3	25	0,975	1,7233 33	1,0084 8	0,975	2,181 846	1,018 336	1,391 728	2,181 846	1,829 94	1	1	1,829 94	2
2,8	7,51	16,3 85	4	3	25	0,7	2,5033 33	0,6554	0,7	2,992 593	0,655 4	1,449 331	2,992 593	2,351 189	2	2	2,351 189	3
3,2	4,83	16,0 75	4	3	25	0,8	1,61	0,643	0,8	2,034 129	0,643	1,159 043	2,034 129	1,655 455	1	1	1,655 455	2
3,1	1,73	9,55 4	4	3	25	0,775	0,5766 67	0,3821 6	0,775	0,576 667	0,382 16	0,577 942	0,775	0,683 609	0	0	0,683 609	1
3,4	4,95	16,2 82	4	3	25	0,85	1,65	0,6512 8	0,85	2,087 42	0,651 28	1,196 233	2,087 42	1,701 219	1	1	1,701 219	2
3,2	2,52	7,53 5	4	3	25	0,8	0,84	0,3014	0,8	0,84	0,301 4	0,647 133	0,84	0,749 794	0	0	0,749 794	1
2,5	3,09	10,4 85	4	3	25	0,625	1,03	0,4194	0,625	1,064 186	0,419 4	0,702 862	1,064 186	0,901 806	0	0	0,901 806	1
3,2	4,22	13,6 94	4	3	25	0,8	1,4066 67	0,5477 6	0,8	1,740 956	0,547 76	1,029 572	1,740 956	1,430 2	1	1	1,430 2	2
3,2	3,51	9,76 1	4	3	25	0,8	1,17	0,3904 4	0,8	1,340 929	0,390 44	0,843 79	1,340 929	1,120 284	1	1	1,120 284	2
3,5	8,42	21,6 13	4	3	25	0,875	2,8066 67	0,8645 2	0,875	3,240 954	0,864 52	1,660 158	3,240 954	2,574 87	2	2	2,574 87	3
2,8	6,73	24,4 08	4	3	25	0,7	2,2433 33	0,9763 2	0,7	2,754 469	0,976 32	1,476 93	2,754 469	2,210 025	2	2	2,210 025	3



Ci DO	Ci BOD	Ci COD	Lij DO	Lij BOD	Lij COD	Ci/Lij DO	Ci/Lij BOD	Ci/Lij COD	CLb DO	CLb BOD	CLb COD	CLR	CLM	IP	Kla sIP	Low FIP	Med FIP	Up FIP
3,9	10,53	50,262	4	3	25	0,975	3,51	2,01048	0,975	3,726536	2,516499	2,406011	3,726536	3,136555	3	3	3,136555	4
3,9	3,14	10,023	4	3	25	0,975	1,046667	0,40092	0,975	1,099042	0,40092	0,824987	1,099042	0,971725	0	0	0,971725	1
4	8,81	39,828	4	3	25	1	2,936667	1,59312	1	3,339273	2,011242	2,116839	3,339273	2,795689	2	2	2,795689	3
3,5	3,94	17,41	4	3	25	0,875	1,313333	0,6964	0,875	1,591875	0,6964	1,054425	1,591875	1,350162	1	1	1,350162	2
3,9	4,13	12,386	4	3	25	0,975	1,376667	0,49544	0,975	1,694144	0,49544	1,054861	1,694144	1,41118	1	1	1,41118	2
3,41	6,71	20,665	4	3	25	0,8525	2,236667	0,8266	0,8525	2,748006	0,8266	1,475702	2,748006	2,205588	2	2	2,205588	3
4,17	5,37	17,548	4	3	25	1,0425	1,79	0,70192	1,09038	2,264265	0,70192	1,352188	2,264265	1,864847	1	1	1,864847	2
3,34	6,75	37,548	4	3	25	0,835	2,25	1,50192	0,835	2,760913	1,883234	1,826382	2,760913	2,34076	2	2	2,34076	3
3,28	6,38	29,156	4	3	25	0,82	2,126667	1,16624	0,82	2,638497	1,33394	1,597479	2,638497	2,18101	2	2	2,18101	3
4,13	5,19	24,12	4	3	25	1,0325	1,73	0,9648	1,06945	2,190231	0,9648	1,40816	2,190231	1,841199	1	1	1,841199	2
2,93	5,99	28,181	4	3	25	0,7325	1,996667	1,12724	0,7325	2,501528	1,260082	1,498037	2,501528	2,061766	2	2	2,061766	3
3,47	4,82	13,636	4	3	25	0,8675	1,606667	0,54544	0,8675	2,029629	0,54544	1,147523	2,029629	1,648667	1	1	1,648667	2
4,57	6,02	31,453	4	3	25	1,1425	2,006667	1,25812	1,289281	2,512376	1,49861	1,766756	2,512376	2,171803	2	2	2,171803	3
3,4	7,52	47,607	4	3	25	0,85	2,506667	1,90428	0,85	2,995483	2,398654	2,081379	2,995483	2,57925	2	2	2,57925	3
4,99	4,86	21,193	4	3	25	1,2475	1,62	0,84772	1,480203	2,047575	0,84772	1,458499	2,047575	1,777608	1	1	1,777608	2



Ci DO	Ci BOD	Ci COD	Lij DO	Lij BOD	Lij COD	Ci/Lij DO	Ci/Lij BOD	Ci/Lij COD	CLb DO	CLb BOD	CLb COD	CLR	CLM	IP	Kla sIP	Low FIP	Med FIP	Up FIP
4,24	3,79	17,276	4	3	25	1,06	1,26333	0,69104	1,126529	1,50759	0,69104	1,108386	1,50759	1,32313	1	1	1,32313	2
3,98	4,54	17,135	4	3	25	0,995	1,51333	0,6854	0,995	1,899673	0,6854	1,193358	1,899673	1,586326	1	1	1,586326	2
4,71	3,36	14,467	4	3	25	1,1775	1,12	0,57868	1,354805	1,24609	0,57868	1,059858	1,354805	1,216305	1	1	1,216305	2
3,98	2,15	8,887	4	3	25	0,995	0,71667	0,35548	0,995	0,716667	0,35548	0,689049	0,995	0,855808	0	0	0,855808	1
4,22	2,74	10,52	4	3	25	1,055	0,91333	0,4208	1,116262	0,913333	0,4208	0,816799	1,116262	0,97806	0	0	0,97806	1
4,92	4,03	19,31	4	3	25	1,23	1,34333	0,7724	1,449526	1,640919	0,7724	1,287615	1,640919	1,474884	1	1	1,474884	2
4,01	3,34	14,14	4	3	25	1,0025	1,11333	0,5656	1,005422	1,233126	0,5656	0,934716	1,233126	1,094142	1	1	1,094142	2
3,75	4,15	18,78	4	3	25	0,9375	1,38333	0,7512	0,9375	1,704634	0,7512	1,131111	1,704634	1,446581	1	1	1,446581	2
3,8	3,48	11,94	4	3	25	0,95	1,16	0,4776	0,95	1,32229	0,4776	0,91663	1,32229	1,137687	1	1	1,137687	2
4,11	5,62	26,21	4	3	25	1,0275	1,87333	1,0484	1,058909	2,363075	1,102635	1,508207	2,363075	1,982273	1	1	1,982273	2
3,78	2,88	13,59	4	3	25	0,945	0,96	0,5436	0,945	0,96	0,5436	0,8162	0,96	0,891006	0	0	0,891006	1
3,41	4,03	19,8	4	3	25	0,8525	1,34333	0,792	0,8525	1,640919	0,792	1,09514	1,640919	1,394981	1	1	1,394981	2
3,41	8,451	18	4	3	25	0,8525	2,817	0,72	0,8525	3,248934	0,72	1,607145	3,248934	2,563054	2	2	2,563054	3
3,71	2,53	12,5	4	3	25	0,9275	0,84333	0,5	0,9275	0,843333	0,5	0,756944	0,9275	0,846529	0	0	0,846529	1
3,41	2,65	8,091	4	3	25	0,8525	0,88333	0,32364	0,8525	0,883333	0,32364	0,686491	0,883333	0,791059	0	0	0,791059	1

Ci DO	Ci BOD	Ci COD	Lij DO	Lij BOD	Lij COD	Ci/Lij DO	Ci/Lij BOD	Ci/Lij COD	CLb DO	CLb BOD	CLb COD	CLR	CLM	IP	Kla sIP	Low FIP	Med FIP	Up FIP
3,9 8	2,04	9,03 9	4	3	25	0,995	0,68	0,3615 6	0,995	0,68	0,361 56	0,678 853	0,995	0,851 724	0	0	0,851 724	1
3,8 9	4,84	24,5 8	4	3	25	0,972 5	1,6133 33	0,9832	0,972 5	2,038 621	0,983 2	1,331 44	2,038 621	1,721 73	1	1	1,721 73	2
3,7 1	1,89	6,18 6	4	3	25	0,927 5	0,63	0,2474 4	0,927 5	0,63	0,247 44	0,601 647	0,927 5	0,781 74	0	0	0,781 74	1
4,7 1	4,53	26,4 3	4	3	25	1,177 5	1,51	1,0572	1,354 805	1,894 885	1,120 786	1,456 825	1,894 885	1,690 108	1	1	1,690 108	2
3,9 1	5,57	31,2 6	4	3	25	0,977 5	1,8566 67	1,2504	0,977 5	2,343 67	1,485 245	1,602 138	2,343 67	2,007 44	2	2	2,007 44	3
3,8	5,8	36,7 6	4	3	25	0,95	1,9333 33	1,4704	0,95	2,431 534	1,837 177	1,739 57	2,431 534	2,114 055	2	2	2,114 055	3
4,2 3	8,1	47,1 9	4	3	25	1,057 5	2,7	1,8876	1,121 402	3,156 819	2,379 55	2,219 257	3,156 819	2,728 608	2	2	2,728 608	3
3,5 1	3,29	16,1 1	4	3	25	0,877 5	1,0966 67	0,6444	0,877 5	1,200 373	0,644 4	0,907 424	1,200 373	1,064 029	1	1	1,064 029	2
3,2 9	6,03	16,4 1	4	3	25	0,822 5	2,01	0,6564	0,822 5	2,515 98	0,656 4	1,331 627	2,515 98	2,012 882	2	2	2,012 882	3
3,8 3	4,75	33,8 7	4	3	25	0,957 5	1,5833 33	1,3548	0,957 5	1,997 862	1,659 376	1,538 246	1,997 862	1,782 926	1	1	1,782 926	2



## 2. Perhitungan dan Fuzzifikasi Nilai Indeks Pencemaran Jan'08 – Jun'13 Kali Surabaya pada Titik Pantau Gunungsari

Ci DO	Ci BOD	Ci COD	Lij DO	Lij BOD	Lij COD	Ci/Lij DO	Ci/Lij BOD	Ci/Lij COD	CLb DO	CLb BOD	CLb COD	CLR	CLM	IP	Kla sIP	Low FIP	Med FIP	Up FIP
3,1	5,2	17,9	4	3	25	0,775	1,7333 33	0,716	0,775	2,194 41	0,716	1,228 47	2,194 41	1,778 282	1	1	1,778 282	2
2,9	3,5	17,5	4	3	25	0,725	1,1666 67	0,7	0,725	1,334 734	0,7	0,919 911	1,334 734	1,146 244	1	1	1,146 244	2
3,9	7,3	36,6	4	3	25	0,975	2,4333 33	1,464	0,975	2,931 008	1,827 705	1,911 238	2,931 008	2,474 231	2	2	2,474 231	3
2,4	3,6	22	4	3	25	0,6	1,2	0,88	0,6	1,395 906	0,88	0,958 635	1,395 906	1,197 401	1	1	1,197 401	2
4,2	5,6	24,7	4	3	25	1,05	1,8666 67	0,988	1,105 946	2,355 334	0,988	1,483 093	2,355 334	1,968 142	1	1	1,968 142	2
1,6	2,7	11	4	3	25	0,4	0,9	0,44	0,4	0,9	0,44	0,58	0,9	0,757 1	0	0	0,757 1	1
3	6,1	13,6	4	3	25	0,75	2,0333 33	0,544	0,75	2,541 043	0,544	1,278 348	2,541 043	2,011 352	2	2	2,011 352	3
2,9	3,5	11,7	4	3	25	0,725	1,1666 67	0,468	0,725	1,334 734	0,468	0,842 578	1,334 734	1,116 121	1	1	1,116 121	2
3	3,5	13,3	4	3	25	0,75	1,1666 67	0,532	0,75	1,334 734	0,532	0,872 245	1,334 734	1,127 459	1	1	1,127 459	2
3	4,2	9	4	3	25	0,75	1,4	0,36	0,75	1,730 64	0,36	0,946 88	1,730 64	1,394 937	1	1	1,394 937	2
3,6	1,8	9,5	4	3	25	0,9	0,6	0,38	0,9	0,6	0,38	0,626 667	0,9	0,775 471	0	0	0,775 471	1
2,4	6,7	28,4	4	3	25	0,6	2,2333 33	1,136	0,6	2,744 768	1,276 892	1,540 553	2,744 768	2,225 652	2	2	2,225 652	3
3,2	4,6	15,4	4	3	25	0,8	1,5333 33	0,616	0,8	1,928 183	0,616	1,114 728	1,928 183	1,574 882	1	1	1,574 882	2
4,9	7,92	26,1 68	4	3	25	1,225	2,64	1,0467 2	1,440 68	3,108 02	1,099 153	1,882 618	3,108 02	2,569 439	2	2	2,569 439	3

Ci DO	Ci BOD	Ci COD	Lij DO	Lij BOD	Lij COD	Ci/Lij DO	Ci/Lij BOD	Ci/Lij COD	CLb DO	CLb BOD	CLb COD	CLR	CLM	IP	KlasIP	Low FIP	Med FIP	Up FIP
4	7,95	44,851	4	3	25	1	2,65	1,79404	1	3,116229	2,269161	2,128463	3,116229	2,668449	2	2	2,668449	3
3,2	6,17	32,112	4	3	25	0,8	2,056667	1,28448	0,8	2,56582	1,543637	1,636485	2,56582	2,151919	2	2	2,151919	3
2,2	6,18	15,713	4	3	25	0,55	2,06	0,62852	0,55	2,569336	0,62852	1,249285	2,569336	2,020173	2	2	2,020173	3
3	3,23	10,485	4	3	25	0,75	1,076667	0,4194	0,75	1,160406	0,4194	0,776602	1,160406	0,987333	0	0	0,987333	1
3	2,41	11,313	4	3	25	0,75	0,803333	0,45252	0,75	0,803333	0,45252	0,668618	0,803333	0,739051	0	0	0,739051	1
3,2	3,22	12,297	4	3	25	0,8	1,073333	0,49188	0,8	1,153673	0,49188	0,815184	1,153673	0,998871	0	0	0,998871	1
3,5	2,64	9,346	4	3	25	0,875	0,88	0,37384	0,875	0,88	0,37384	0,709613	0,88	0,799359	0	0	0,799359	1
3,8	2,79	9,398	4	3	25	0,95	0,93	0,37592	0,95	0,93	0,37592	0,751973	0,95	0,856727	0	0	0,856727	1
3	1,92	6,552	4	3	25	0,75	0,64	0,26208	0,75	0,64	0,26208	0,550693	0,75	0,657937	0	0	0,657937	1
3	3,21	9,761	4	3	25	0,75	1,07	0,39044	0,75	1,146919	0,39044	0,762453	1,146919	0,973847	0	0	0,973847	1
3,3	5,76	12,4	4	3	25	0,825	1,92	0,496	0,825	2,416506	0,496	1,245835	2,416506	1,922447	1	1	1,922447	2
2,1	4,85	11,003	4	3	25	0,525	1,616667	0,44012	0,525	2,043102	0,44012	1,002741	2,043102	1,60931	1	1	1,60931	2
3,5	3,19	13,557	4	3	25	0,875	1,063333	0,54228	0,875	1,133347	0,54228	0,850209	1,133347	1,001831	1	1	1,001831	2
3,4	3,07	9,261	4	3	25	0,85	1,023333	0,37044	0,85	1,050086	0,37044	0,756842	1,050086	0,915284	0	0	0,915284	1
3,8	6,03	28,37	4	3	25	0,95	2,01	1,1348	0,95	2,51598	1,274597	1,580192	2,51598	2,100853	2	2	2,100853	3



Ci DO	Ci BOD	Ci COD	Lij DO	Lij BOD	Lij COD	Ci/Lij DO	Ci/Lij BOD	Ci/Lij COD	CLb DO	CLb BOD	CLb COD	CLR	CLM	IP	Kla sIP	Low FIP	Med FIP	Up FIP
3,3	3,47	13,268	4	3	25	0,825	1,156667	0,53072	0,825	1,316041	0,53072	0,890587	1,316041	1,123635	1	1	1,123635	2
4,2	3,91	12,749	4	3	25	1,05	1,303333	0,50996	1,105946	1,575278	0,50996	1,063728	1,575278	1,344064	1	1	1,344064	2
4,07	4,18	16,125	4	3	25	1,0175	1,393333	0,645	1,037672	1,720275	0,645	1,134316	1,720275	1,457055	1	1	1,457055	2
5,14	4,45	14,218	4	3	25	1,285	1,483333	0,56872	1,544516	1,856194	0,56872	1,323143	1,856194	1,611857	1	1	1,611857	2
2,86	9,02	46,499	4	3	25	0,715	3,006667	1,85996	0,715	3,390426	2,347518	2,150981	3,390426	2,839165	2	2	2,839165	3
2,94	5,39	30,188	4	3	25	0,735	1,796667	1,20752	0,735	2,272338	1,409472	1,47227	2,272338	1,914562	1	1	1,914562	2
3,42	6,47	28,722	4	3	25	0,855	2,156667	1,14888	0,855	2,668915	1,301373	1,608429	2,668915	2,203424	2	2	2,203424	3
3,39	6,47	38,615	4	3	25	0,8475	2,156667	1,5446	0,8475	2,668915	1,94408	1,820165	2,668915	2,284306	2	2	2,284306	3
3,39	3,38	15,579	4	3	25	0,8475	1,126667	0,62316	0,8475	1,258977	0,62316	0,909879	1,258977	1,098386	1	1	1,098386	2
3,98	4,77	19,306	4	3	25	0,995	1,59	0,77224	0,995	2,006986	0,77224	1,258075	2,006986	1,674925	1	1	1,674925	2
3,69	4,95	20,058	4	3	25	0,9225	1,65	0,80232	0,9225	2,08742	0,80232	1,270747	2,08742	1,728022	1	1	1,728022	2
3,92	4,18	18,099	4	3	25	0,98	1,393333	0,72396	0,98	1,720275	0,72396	1,141412	1,720275	1,459823	1	1	1,459823	2
5,9	3,41	14,045	4	3	25	1,475	1,136667	0,5618	1,84396	1,278166	0,5618	1,227975	1,84396	1,566543	1	1	1,566543	2
3,72	3,18	10,321	4	3	25	0,93	1,06	0,41284	0,93	1,126529	0,41284	0,823123	1,126529	0,98656	0	0	0,98656	1
3,41	2,93	11,589	4	3	25	0,8525	0,976667	0,46356	0,8525	0,976667	0,46356	0,764242	0,976667	0,87691	0	0	0,87691	1



Ci DO	Ci BOD	Ci COD	Lij DO	Lij BOD	Lij COD	Ci/Lij DO	Ci/Lij BOD	Ci/Lij COD	CLb DO	CLb BOD	CLb COD	CLR	CLM	IP	Kla sIP	Low FIP	Med FIP	Up FIP
3,3 3	2,3	9,86 1	4	3	25	0,832 5	0,7666 67	0,3944 4	0,832 5	0,766 667	0,394 44	0,664 536	0,832 5	0,753 214	0	0	0,753 214	1
3,1 1	2,31	10,1 6	4	3	25	0,777 5	0,77	0,4064	0,777 5	0,77	0,406 4	0,651 3	0,777 5	0,717 181	0	0	0,717 181	1
3,9 1	2,47	11,6 6	4	3	25	0,977 5	0,8233 33	0,4664	0,977 5	0,823 333	0,466 4	0,755 744	0,977 5	0,873 686	0	0	0,873 686	1
3,4 5	3,88	14,0 9	4	3	25	0,862 5	1,2933 33	0,5636	0,862 5	1,558 552	0,563 6	0,994 884	1,558 552	1,307 456	1	1	1,307 456	2
3,2 9	4,36	18,0 1	4	3	25	0,822 5	1,4533 33	0,7204	0,822 5	1,811 826	0,720 4	1,118 242	1,811 826	1,505 52	1	1	1,505 52	2
3,1 9	2,42	8,18 9	4	3	25	0,797 5	0,8066 67	0,3275 6	0,797 5	0,806 667	0,327 56	0,643 909	0,806 667	0,729 839	0	0	0,729 839	1
4,2 1	5,31	15,9 2	4	3	25	1,052 5	1,77	0,6368	1,111 111	2,239 866	0,636 8	1,329 259	2,239 866	1,841 729	1	1	1,841 729	2
3,2 1	2,86	11,8 1	4	3	25	0,802 5	0,9533 33	0,4724	0,802 5	0,953 333	0,472 4	0,742 744	0,953 333	0,854 551	0	0	0,854 551	1
3,2 3	4,29	21,4 1	4	3	25	0,807 5	1,43	0,8564	0,807 5	1,776 68	0,856 4	1,146 86	1,776 68	1,495 306	1	1	1,495 306	2
3,1 3	11,9 4	32	4	3	25	0,782 5	3,98	1,28	0,782 5	3,999 415	1,536 05	2,105 988	3,999 415	3,196 131	3	3	3,196 131	4
3,1 2	2,52	7,58 5	4	3	25	0,78	0,84	0,3034	0,78	0,84	0,303 4	0,641 133	0,84	0,747 212	0	0	0,747 212	1
3,1 5	2,38	5,41 3	4	3	25	0,787 5	0,7933 33	0,2165 2	0,787 5	0,793 333	0,216 52	0,599 118	0,793 333	0,702 965	0	0	0,702 965	1
3,1 2	2,05	9,05 2	4	3	25	0,78	0,6833 33	0,3620 8	0,78	0,683 333	0,362 08	0,608 471	0,78	0,699 513	0	0	0,699 513	1
3,1 1	3,1	13,1 9	4	3	25	0,777 5	1,0333 33	0,5276	0,777 5	1,071 202	0,527 6	0,792 101	1,071 202	0,942 045	0	0	0,942 045	1
3,1 1	3,9	15,6 6	4	3	25	0,777 5	1,3	0,6264	0,777 5	1,569 717	0,626 4	0,991 206	1,569 717	1,312 726	1	1	1,312 726	2

Ci DO	Ci BOD	Ci COD	Lij DO	Lij BOD	Lij COD	Ci/Lij DO	Ci/Lij BOD	Ci/Lij COD	CLb DO	CLb BOD	CLb COD	CLR	CLM	IP	Kla sIP	Low FIP	Med FIP	Up FIP
3,9 9	3,41	16,7 5	4	3	25	0,997 5	1,1366 67	0,67	0,997 5	1,278 166	0,67	0,981 889	1,278 166	1,139 696	1	1	1,139 696	2
3,8 7	4,35	17	4	3	25	0,967 5	1,45	0,68	0,967 5	1,806 84	0,68	1,151 447	1,806 84	1,515 008	1	1	1,515 008	2
3,7 1	4,77	20,9	4	3	25	0,927 5	1,59	0,836	0,927 5	2,006 986	0,836	1,256 829	2,006 986	1,674 457	1	1	1,674 457	2
4,1	3,28	20,8	4	3	25	1,025	1,0933 33	0,832	1,053 619	1,193 763	0,832	1,026 461	1,193 763	1,113 259	1	1	1,113 259	2
3,3 1	4,18	13,2	4	3	25	0,827 5	1,3933 33	0,528	0,827 5	1,720 275	0,528	1,025 258	1,720 275	1,416 069	1	1	1,416 069	2
2,6 2	5,38	16,7 9	4	3	25	0,655	1,7933 33	0,6716	0,655	2,268 305	0,671 6	1,198 302	2,268 305	1,813 992	1	1	1,813 992	2
3,4 1	5	36,6 7	4	3	25	0,852 5	1,6666 67	1,4668	0,852 5	2,109 244	1,831 855	1,597 866	2,109 244	1,871 107	1	1	1,871 107	2



### 3. Perhitungan dan Fuzzifikasi Nilai Indeks Pencemaran Jan'08 – Jun'13 Kali Surabaya pada Titik Pantau Jagir

Ci DO	Ci BOD	Ci COD	Lij DO	Lij BOD	Lij COD	Ci/Lij DO	Ci/Lij BOD	Ci/Lij COD	CLb DO	CLb BOD	CLb COD	CLR	CLM	IP	Kla sIP	Low FIP	Med FIP	Up FIP
3,1	9,6	22,1	4	3	25	0,775	3,2	0,884	0,775	3,525 75	0,884	1,728 25	3,525 75	2,776 487	2	2	2,776 487	3
2,7	6,5	19,9	4	3	25	0,675	2,1666 67	0,796	0,675	2,678 961	0,796	1,383 32	2,678 961	2,131 948	2	2	2,131 948	3
2,2	7,1	40,4	4	3	25	0,55	2,3666 67	1,616	0,55	2,870 685	2,042 207	1,820 964	2,870 685	2,403 825	2	2	2,403 825	3
3	7,9	46,8	4	3	25	0,75	2,6333 33	1,872	0,75	3,102 529	2,361 529	2,071 353	3,102 529	2,637 82	2	2	2,637 82	3
3,9	5,3	19,2	4	3	25	0,975	1,7666 67	0,768	0,975	2,235 773	0,768	1,326 258	2,235 773	1,838 157	1	1	1,838 157	2
2,4	2,8	12	4	3	25	0,6	0,9333 33	0,48	0,6	0,933 333	0,48	0,671 111	0,933 333	0,812 866	0	0	0,812 866	1
2,9	4,6	10,9	4	3	25	0,725	1,5333 33	0,436	0,725	1,928 183	0,436	1,029 728	1,928 183	1,545 676	1	1	1,545 676	2
3	5	10,7	4	3	25	0,75	1,6666 67	0,428	0,75	2,109 244	0,428	1,095 748	2,109 244	1,680 71	1	1	1,680 71	2
2,8	3,6	18,1	4	3	25	0,7	1,2	0,724	0,7	1,395 906	0,724	0,939 969	1,395 906	1,189 978	1	1	1,189 978	2
3	6,6	26,8	4	3	25	0,75	2,2	1,072	0,75	2,712 113	1,150 974	1,537 696	2,712 113	2,204 548	2	2	2,204 548	3
3	8,1	20,4	4	3	25	0,75	2,7	0,816	0,75	3,156 819	0,816	1,574 273	3,156 819	2,494 378	2	2	2,494 378	3
3	4,9	12	4	3	25	0,75	1,6333 33	0,48	0,75	2,065 374	0,48	1,098 458	2,065 374	1,654 143	1	1	1,654 143	2
3	5,6	16,8	4	3	25	0,75	1,8666 67	0,672	0,75	2,355 334	0,672	1,259 111	2,355 334	1,888 512	1	1	1,888 512	2
3,4	5,88	22,0 66	4	3	25	0,85	1,96	0,8826 4	0,85	2,461 28	0,882 64	1,397 973	2,461 28	2,001 528	2	2	2,001 528	3



Ci DO	Ci BOD	Ci COD	Lij DO	Lij BOD	Lij COD	Ci/Lij DO	Ci/Lij BOD	Ci/Lij COD	CLb DO	CLb BOD	CLb COD	CLR	CLM	IP	Kla sIP	Low FIP	Med FIP	Up FIP
3,1	5,68	18,843	4	3	25	0,775	1,893333	0,75372	0,775	2,386135	0,75372	1,304952	2,386135	1,923089	1	1	1,923089	2
3,1	4,13	17,41	4	3	25	0,775	1,376667	0,6964	0,775	1,694144	0,6964	1,055181	1,694144	1,411299	1	1	1,411299	2
3,1	4,35	10,175	4	3	25	0,775	1,45	0,407	0,775	1,80684	0,407	0,99628	1,80684	1,45898	1	1	1,45898	2
2,6	3,36	11,261	4	3	25	0,65	1,12	0,45044	0,65	1,24609	0,45044	0,782177	1,24609	1,040322	1	1	1,040322	2
3,3	4,05	11,417	4	3	25	0,825	1,35	0,45668	0,825	1,651669	0,45668	0,977783	1,651669	1,357216	1	1	1,357216	2
3	3,18	11,106	4	3	25	0,75	1,06	0,44424	0,75	1,126529	0,44424	0,77359	1,126529	0,96631	0	0	0,96631	1
3	4,08	16,282	4	3	25	0,75	1,36	0,65128	0,75	1,667695	0,65128	1,022992	1,667695	1,383423	1	1	1,383423	2
2,7	3,32	13,073	4	3	25	0,675	1,106667	0,522292	0,675	1,220084	0,52292	0,806001	1,220084	1,033983	1	1	1,033983	2
3	2,08	7,587	4	3	25	0,75	0,693333	0,30348	0,75	0,693333	0,30348	0,582271	0,75	0,671394	0	0	0,671394	1
3,1	6,94	22,13	4	3	25	0,775	2,313333	0,8852	0,775	2,821191	0,8852	1,493797	2,821191	2,257271	2	2	2,257271	3
3,6	3,86	24,097	4	3	25	0,9	1,286667	0,96388	0,9	1,54733	0,96388	1,13707	1,54733	1,357785	1	1	1,357785	2
3,1	3,3	14,263	4	3	25	0,775	1,1	0,57052	0,775	1,206963	0,57052	0,850828	1,206963	1,044191	1	1	1,044191	2
3,1	4,92	22,701	4	3	25	0,775	1,64	0,90804	0,775	2,074219	0,90804	1,25242	2,074219	1,713321	1	1	1,713321	2
3,4	3,7	14,909	4	3	25	0,85	1,233333	0,59636	0,85	1,455402	0,59636	0,967254	1,455402	1,235673	1	1	1,235673	2
3,1	3,59	12,004	4	3	25	0,775	1,196667	0,48016	0,775	1,389866	0,48016	0,881675	1,389866	1,163847	1	1	1,163847	2



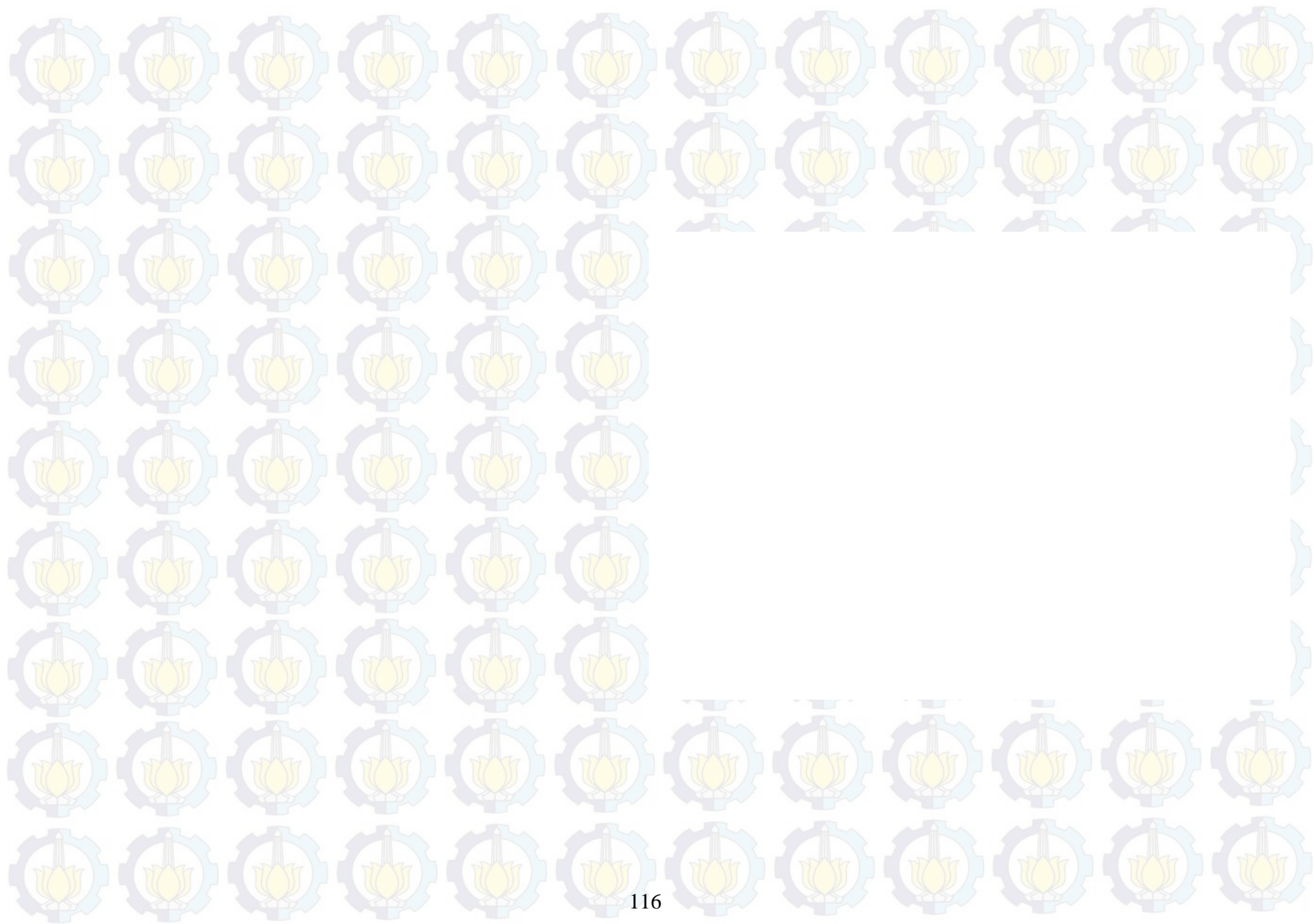
Ci DO	Ci BOD	Ci COD	Lij DO	Lij BOD	Lij COD	Ci/Lij DO	Ci/Lij BOD	Ci/Lij COD	CLb DO	CLb BOD	CLb COD	CLR	CLM	IP	Kla sIP	Low FIP	Med FIP	Up FIP
3,1	3,12	13,14	4	3	25	0,775	1,04	0,52456	0,775	1,085167	0,52456	0,794909	1,085167	0,951175	0	0	0,951175	1
3,5	3,93	12,201	4	3	25	0,875	1,31	0,48804	0,875	1,586356	0,48804	0,983132	1,586356	1,319673	1	1	1,319673	2
4,2	4,85	13,63	4	3	25	1,05	1,616667	0,5452	1,105946	2,043102	0,5452	1,231416	2,043102	1,68681	1	1	1,68681	2
4,67	2,84	10,644	4	3	25	1,1675	0,946667	0,42576	1,336284	0,946667	0,42576	0,902904	1,336284	1,140371	1	1	1,140371	2
2,91	3,55	11,781	4	3	25	0,7275	1,183333	0,47124	0,7275	1,365535	0,47124	0,854758	1,365535	1,139144	1	1	1,139144	2
5,67	8,32	48,73	4	3	25	1,4175	2,773333	1,9492	1,757615	3,21501	2,449282	2,473969	3,21501	2,86852	2	2	2,86852	3
3,1	5,15	24,267	4	3	25	0,775	1,716667	0,97068	0,775	2,17343	0,97068	1,30637	2,17343	1,793098	1	1	1,793098	2
3,81	6,13	29,898	4	3	25	0,9525	2,043333	1,19592	0,9525	2,551696	1,388511	1,630902	2,551696	2,141377	2	2	2,141377	3
3,61	6,72	21,973	4	3	25	0,9025	2,24	0,87892	0,9025	2,75124	0,87892	1,510887	2,75124	2,219471	2	2	2,219471	3
3,24	6,72	35,612	4	3	25	0,81	2,24	1,42448	0,81	2,75124	1,768282	1,776507	2,75124	2,31574	2	2	2,31574	3
3,72	9,31	41,071	4	3	25	0,93	3,103333	1,64284	0,93	3,459142	2,077976	2,155706	3,459142	2,882077	2	2	2,882077	3
3,92	8,44	43,772	4	3	25	0,98	2,813333	1,75088	0,98	3,246106	2,216282	2,147463	3,246106	2,752163	2	2	2,752163	3
3,12	2,29	8,648	4	3	25	0,78	0,763333	0,34592	0,78	0,763333	0,34592	0,629751	0,78	0,708868	0	0	0,708868	1
3,21	4,7	15,031	4	3	25	0,8025	1,566667	0,60124	0,8025	1,974883	0,60124	1,126208	1,974883	1,607561	1	1	1,607561	2
3,2	4,55	17,83	4	3	25	0,8	1,516667	0,7132	0,8	1,904451	0,7132	1,139217	1,904451	1,569195	1	1	1,569195	2



Ci DO	Ci BOD	Ci COD	Lij DO	Lij BOD	Lij COD	Ci/Lij DO	Ci/Lij BOD	Ci/Lij COD	CLb DO	CLb BOD	CLb COD	CLR	CLM	IP	Kla sIP	Low FIP	Med FIP	Up FIP
3,01	3,97	10,437	4	3	25	0,7525	1,323333	0,41748	0,7525	1,608346	0,41748	0,926109	1,608346	1,312337	1	1	1,312337	2
3,1	3,36	13,37	4	3	25	0,775	1,12	0,5348	0,775	1,24609	0,5348	0,851963	1,24609	1,067376	1	1	1,067376	2
3,23	4,34	17,59	4	3	25	0,8075	1,446667	0,7036	0,8075	1,801842	0,7036	1,104314	1,801842	1,494347	1	1	1,494347	2
5,07	4,26	26,35	4	3	25	1,2675	1,42	1,054	1,51474	1,761442	1,114203	1,463462	1,761442	1,61932	1	1	1,61932	2
3,68	3,39	18,58	4	3	25	0,92	1,13	0,7432	0,92	1,265392	0,7432	0,976197	1,265392	1,130084	1	1	1,130084	2
3,33	3,8	21,49	4	3	25	0,8325	1,266667	0,8596	0,8325	1,513312	0,8596	1,068471	1,513312	1,309913	1	1	1,309913	2
4,71	5,04	19,04	4	3	25	1,1775	1,68	0,7616	1,354805	2,126546	0,7616	1,414317	2,126546	1,805892	1	1	1,805892	2
4,67	4,44	23,91	4	3	25	1,1675	1,48	0,9564	1,336284	1,851309	0,9564	1,381331	1,851309	1,633312	1	1	1,633312	2
3,02	6,66	34,99	4	3	25	0,755	2,22	1,3996	0,755	2,731765	1,73002	1,738928	2,731765	2,289805	2	2	2,289805	3
3,59	8,086	22	4	3	25	0,8975	2,695333	0,88	0,8975	3,153062	0,88	1,643521	3,153062	2,514256	2	2	2,514256	3
2,97	3,47	15,24	4	3	25	0,7425	1,156667	0,6096	0,7425	1,316041	0,6096	0,88938	1,316041	1,123157	1	1	1,123157	2
3,25	3,2	9,896	4	3	25	0,8125	1,066667	0,39584	0,8125	1,140144	0,39584	0,782828	1,140144	0,977943	0	0	0,977943	1
3,1	3,28	12,55	4	3	25	0,775	1,093333	0,502	0,775	1,193763	0,502	0,823588	1,193763	1,025516	1	1	1,025516	2
3,22	2,23	11,42	4	3	25	0,805	0,743333	0,4568	0,805	0,743333	0,4568	0,668378	0,805	0,739849	0	0	0,739849	1
3,1	3,94	13,24	4	3	25	0,775	1,313333	0,5296	0,775	1,591875	0,5296	0,965492	1,591875	1,31648	1	1	1,31648	2



Ci DO	Ci BOD	Ci COD	Lij DO	Lij BOD	Lij COD	Ci/Lij DO	Ci/Lij BOD	Ci/Lij COD	CLb DO	CLb BOD	CLb COD	CLR	CLM	IP	Kla sIP	Low FIP	Med FIP	Up FIP
3,99	4,79	22,8 8	4	3	25	0,997 5	1,5966 67	0,9152	0,997 5	2,016 071	0,915 2	1,309 59	2,016 071	1,699 937	1	1	1,699 937	2
3,86	6,41	37,9 5	4	3	25	0,965	2,1366 67	1,518	0,965	2,648 684	1,906 359	1,840 014	2,648 684	2,280 48	2	2	2,280 48	3
3,97	4,25	20,0 1	4	3	25	0,992 5	1,4166 67	0,8004	0,992 5	1,756 338	0,800 4	1,183 079	1,756 338	1,497 398	1	1	1,497 398	2
2,9	3,27	19,2 3	4	3	25	0,725	1,09	0,7692	0,725	1,187 132	0,769 2	0,893 777	1,187 132	1,050 743	1	1	1,050 743	2
3,21	15,1 2	38,1 5	4	3	25	0,802 5	5,04	1,526	0,802 5	4,512 153	1,917 773	2,410 808	4,512 153	3,617 424	3	3	3,617 424	4
2,76	3,26	11,6 5	4	3	25	0,69	1,0866 67	0,466	0,69	1,180 482	0,466	0,778 827	1,180 482	1,000 027	1	1	1,000 027	2
3,15	5,32	25,9 5	4	3	25	0,787 5	1,7733 33	1,038	0,787 5	2,243 952	1,080 987	1,370 813	2,243 952	1,859 361	1	1	1,859 361	2





## LAMPIRAN 3

### SOURCE CODE MATLAB 2013a

- Source Code Aplikasi Jaringan Syaraf Fuzzy Radial Basis Function untuk Peramalan Indeks Pencemaran Kali Surabaya Titik Pantau Sepanjang

```
% clc;
clear all;
%algoritma
learningratesemua=0.07;
namasheet='Sepanjang';
ip = xlsread('KlasifikasiIPSGJ.xlsx',namasheet,'O2:O55');
ptrain=length(ip);
y_aktual =
xlsread('KlasifikasiIPSGJ.xlsx',namasheet,'O56:O67');
ptest=length(y_aktual);
poutsamp=ptrain+ptest;

%%TRAINING TESTING
% inisialisasi menggunakan semua training set sbg center
% step1. fuzzification
for i=1:length(ip)
    if ip(i)< 1
        fip(i,1)=0;
        fip(i,2)=ip(i);
        fip(i,3)=1;
    elseif ip(i) < 2
        fip(i,1)=1;
        fip(i,2)=ip(i);
        fip(i,3)=2;
    elseif ip(i) < 3
        fip(i,1)=2;
        fip(i,2)=ip(i);
        fip(i,3)=3;
    else
        fip(i,1)=3;
        fip(i,2)=ip(i);
        fip(i,3)=4;
    end
end
learningcycles=100;
X=fip;
C=fip;
nr_old=learningratesemua;
for lc = 1:learningcycles

%step3.menghitung jarak antar vektor input pd layer input
%dan msg2 neuron pd hidden layer%
t=length(X);
s=length(C);
for i=1:t
    for j=1:s
        fxc1(i,j)=(X(j,1)-C(i,1));
```



```

        fxc2(i,j)=(X(j,2)-C(i,2));
        fxc3(i,j)=(X(j,3)-C(i,3));
        kfxcl(i,j)=fxc1(i,j)^2;
        kfxc2(i,j)=fxc2(i,j)^2;
        kfxc3(i,j)=fxc3(i,j)^2;
    end
    sumfxc1(i)=(sum(kfxcl(i,:)));
    sumfxc2(i)=(sum(kfxc2(i,:)));
    sumfxc3(i)=(sum(kfxc3(i,:)));
end

%step4. use center of gravity untuk defuzzifikasi%
for i=1:t
    H(i)=sqrt((sumfxc1(i)+sumfxc2(i)+sumfxc3(i))/3);
end

%step5. find out the winner
ddjw=min(H);

%step6. update values of ddjw
for n=1:length(H)
    if H(n)==ddjw
        C(n,2)=C(n,2)+(nr_old*ddjw);
        if C(n,2) < 1
            C(n,1)=0;
            C(n,2)=C(n,2);
            C(n,3)=1;
        elseif C(n,2) < 2
            C(n,1)=1;
            C(n,2)=C(n,2);
            C(n,3)=2;
        elseif C(n,2) < 3
            C(n,1)=2;
            C(n,2)=C(n,2);
            C(n,3)=3;
        else
            C(n,1)=3;
            C(n,2)=C(n,2);
            C(n,3)=4;
        end
    end
end
end

%step7. reduce learning rate
nrate=0.5;
nr_new=nr_old*nrate;
nr_old=nr_new;
end

% step1rbf. menghitung nilai output pd neuron hidden
fstdev=sum(std(fip));
ycb=(-(H.^2)/(2*(fstdev^2)));
y=exp(ycb);

% step2rbf. menghitung nilai output pd neuron output
w=xlsread('W1.xlsx','A3:L56');

```

```

learningrate=learningratesemua;
for epoch=1:5000
    obs=y*w;

    % step3rbf. menghitung error
    e=(y_aktual-obs');
    mse=sum((y_aktual-obs').^2)/12;

    % step4rbf. perbarui bobot
    % step5rbf. ulangi smpe mencapai error yg diinginkan
    if mse > 0.001
        dw=learningrate*e*y;
        wbaru=w'+dw;
        w=wbaru';
    else
        break
    end
end
epoch
mse
figure
plot(1:pctest,obs,'*-b',1:pctest,y_aktual,'+-r')
% title('Testing Aplikasi FRBF dalam Peramalan IP TP.
Sepanjang')
% title('Testing Aplikasi FRBF dalam Peramalan IP TP.
Gunungsari')
title('Testing Aplikasi FRBF dalam Peramalan IP TP.
Jagir')
legend('FRBFNN','AKTUAL')
xlabel('Data ke-')
ylabel('Indeks Pencemaran')
for irr=1:pctest
    errfrbf(irr)=abs(obs(irr)-y_aktual(irr));
end

%%PERAMALAN
for nn=1:length(obs)
    if obs(nn) < 1
        fip(length(fip)+1,:)= [0 obs(nn) 1];
    elseif obs(nn) < 2
        fip(length(fip)+1,:)= [1 obs(nn) 2];
    elseif obs(nn) < 3
        fip(length(fip)+1,:)= [2 obs(nn) 3];
    else
        fip(length(fip)+1,:)= [3 obs(nn) 4];
    end
end
learningcycles=100;
Xb=fip;
Cb=fip;
nr_oldb=learningratesemua;
for lc = 1:learningcycles
    tb=length(Xb);
    sb=length(Cb);
    for i=1:tb
        for j=1:sb
            bfxcl(i,j)=(Xb(j,1)-Cb(i,1))^2;

```



```

        bfxc2(i,j)=(Xb(j,2)-Cb(i,2))^2;
        bfxc3(i,j)=(Xb(j,3)-Cb(i,3))^2;
    end
    sumbfxc1(i)=(sum(bfxc1(i,:)));
    sumbfxc2(i)=(sum(bfxc2(i,:)));
    sumbfxc3(i)=(sum(bfxc3(i,:)));
end

%step4. use center of gravity untuk defuzzifikasi%
for i=1:tb
    Hb(i)=sqrt((sumbfxc1(i)+sumbfxc2(i)+sumbfxc3(i))/3);
end

%step5. find out the winner
ddjwb=min(Hb);
for ni=1:length(Hb)
    if Hb(ni)==ddjwb
        Cb(ni,2)=Cb(ni,2)+(nr_oldb*ddjwb);
        if Cb(ni,2) < 1
            Cb(ni,1)=0;
            Cb(ni,2)=Cb(ni,2);
            Cb(ni,3)=1;
        elseif Cb(ni,2) < 2
            Cb(ni,1)=1;
            Cb(ni,2)=Cb(ni,2);
            Cb(ni,3)=2;
        elseif Cb(ni,2) < 3
            Cb(ni,1)=2;
            Cb(ni,2)=Cb(ni,2);
            Cb(ni,3)=3;
        else
            Cb(ni,1)=3;
            Cb(ni,2)=Cb(ni,2);
            Cb(ni,3)=4;
        end
    end
end
end

%step7. reduce learning rate
nr_rateb=0.5;
nr_newb=nr_oldb*nr_rateb;
nr_oldb=nr_newb;
end

% % steplrbf. menghitung nilai output pd neuron hidden
bfstdev=sum(std(fip));
ycbb=(-(Hb.^2)/(2*(bfstdev^2)));
yb=exp(ycbb);

% % step2rbf. menghitung nilai output pd neuron output
rw=xlsread('W1.xlsx','A61:L72');
wb=[w;rw];
learningrateb=learningratesemua;
for epoch=1:500
    fobsb=yb*wb;
    dwb=learningrateb*e*yb;
end

```



```

wbarub=wb'+dwb;
wb=wbarub';

end
fobsb
figure;
plot(1:ptest,fobsb,'*-b')
    title('Peramalan Nilai IP TP. Sepanjang Jul_13 -
Jun_14')
%    title('Peramalan Nilai IP TP. Gunungsari Jul_13 -
Des_14')
%    title('Peramalan Nilai IP TP. Jagir Jul_13 - Des_14')
legend('FRBFNN')
xlabel('Data ke-')
ylabel('Indeks Pencemaran')

```

- Nilai Bobot yang digunakan pada Training (size: 54 x 12)

0,5066	0,2321	0,611	0,1351	0,0591	0,8371	0,8147	0,7094	0,5688	0,4018	0,4868	0,0855
0,7169	0,7982	0,4902	0,9385	0,2313	0,5703	0,9058	0,7547	0,4694	0,076	0,4359	0,2625
0,3012	0,2378	0,4448	0,4679	0,9354	0,7831	0,127	0,276	0,0119	0,2399	0,4468	0,801
0,706	0,5733	0,3968	0,9332	0,8067	0,4757	0,9134	0,6797	0,3371	0,1233	0,3063	0,0292
0,9152	0,6194	0,1519	0,9732	0,0381	0,7777	0,6324	0,6551	0,1622	0,1839	0,5085	0,9289
0,7058	0,4537	0,8702	0,2844	0,9681	0,896	0,0975	0,1626	0,7943	0,24	0,5108	0,7303
0,1331	0,7544	0,4857	0,5388	0,93	0,9564	0,2785	0,119	0,3112	0,4173	0,8176	0,4886
0,6655	0,5659	0,8599	0,0126	0,0459	0,1313	0,5469	0,4984	0,5285	0,0497	0,7948	0,5785
0,3756	0,7779	0,7282	0,1572	0,3295	0,6264	0,9575	0,9597	0,1656	0,9027	0,6443	0,2373
0,5024	0,7342	0,5426	0,3516	0,7165	0,7496	0,9649	0,3404	0,602	0,9448	0,3786	0,4588
0,399	0,9654	0,6308	0,7731	0,0315	0,1909	0,1576	0,5853	0,263	0,4909	0,8116	0,9631
0,9604	0,763	0,2691	0,3202	0,2428	0,4438	0,9706	0,2238	0,6541	0,4893	0,5328	0,5468
0,1157	0,5669	0,5918	0,5535	0,3065	0,292	0,9572	0,7513	0,6892	0,3377	0,3507	0,5211
0,5612	0,5997	0,8663	0,3801	0,834	0,436	0,4854	0,2551	0,7482	0,9001	0,939	0,2316
0,4672	0,5913	0,9255	0,7502	0,5218	0,6799	0,8003	0,506	0,4505	0,3692	0,8759	0,4889
0,1589	0,9616	0,9511	0,9851	0,1155	0,253	0,1419	0,6991	0,0838	0,1112	0,5502	0,6241
0,5252	0,4416	0,0667	0,4471	0,1393	0,8721	0,4218	0,8909	0,229	0,7803	0,6225	0,6791
0,3197	0,6925	0,9461	0,0746	0,4045	0,5362	0,9157	0,9593	0,9133	0,3897	0,587	0,3955
0,7813	0,2359	0,4966	0,1004	0,1593	0,9124	0,7922	0,5472	0,1524	0,2417	0,2077	0,3674
0,0629	0,7706	0,068	0,3362	0,9445	0,4659	0,9595	0,1386	0,8258	0,4039	0,3012	0,988
0,6223	0,16	0,1536	0,2922	0,1298	0,3731	0,6557	0,1493	0,5383	0,0965	0,4709	0,0377
0,6371	0,0787	0,2961	0,917	0,2278	0,6935	0,0357	0,2575	0,9961	0,132	0,2305	0,8852
0,0811	0,3107	0,1687	0,5048	0,0267	0,7569	0,8491	0,8407	0,0782	0,9421	0,8443	0,9133
0,8463	0,3242	0,7352	0,5792	0,8908	0,9085	0,934	0,2543	0,4427	0,9561	0,1948	0,7962
0,8619	0,1769	0,8797	0,0517	0,7209	0,0623	0,6787	0,8143	0,1067	0,5752	0,2259	0,0987
0,7587	0,246	0,8514	0,2668	0,204	0,7835	0,7577	0,2435	0,9619	0,0598	0,1707	0,2619
0,9377	0,9918	0,672	0,7829	0,3406	0,1679	0,7431	0,9293	0,0046	0,2348	0,2277	0,3354
0,6476	0,6113	0,7985	0,538	0,5963	0,8328	0,3922	0,35	0,7749	0,3532	0,4357	0,6797



0,996	0,483	0,1005	0,9398	0,6125	0,1295	0,6555	0,1966	0,8173	0,8212	0,3111	0,1366
0,7362	0,2443	0,5227	0,5376	0,0657	0,492	0,1712	0,2511	0,8687	0,0154	0,9234	0,7212
0,0575	0,9739	0,0587	0,4129	0,1766	0,8394	0,706	0,616	0,0844	0,043	0,4302	0,1068
0,0093	0,7154	0,8136	0,9641	0,1734	0,5786	0,0318	0,4733	0,3998	0,169	0,1848	0,6538
0,8309	0,6984	0,3457	0,5991	0,8565	0,2756	0,2769	0,3517	0,2599	0,6491	0,9049	0,4942
0,335	0,1748	0,8289	0,9413	0,5795	0,3623	0,0462	0,8308	0,8001	0,7317	0,9797	0,7791
0,269	0,4704	0,725	0,761	0,2018	0,5343	0,0971	0,5853	0,4314	0,6477	0,4389	0,715
0,1083	0,8051	0,3373	0,1109	0,6754	0,9382	0,8235	0,5497	0,9106	0,4509	0,1111	0,9037
0,1817	0,1097	0,2115	0,2851	0,0995	0,2833	0,6948	0,9172	0,1818	0,547	0,2581	0,8909
0,3838	0,795	0,3398	0,2126	0,0041	0,6398	0,3171	0,2858	0,2638	0,2963	0,4087	0,3342
0,8371	0,868	0,4593	0,4148	0,5617	0,0377	0,9502	0,7572	0,1455	0,7447	0,5949	0,6987
0,7617	0,0973	0,5287	0,5017	0,3565	0,7572	0,0344	0,7537	0,1361	0,189	0,2622	0,1978
0,9872	0,0658	0,4012	0,8412	0,432	0,1874	0,4387	0,3804	0,8693	0,6868	0,6028	0,0305
0,711	0,0603	0,7519	0,7796	0,2741	0,5096	0,3816	0,5678	0,5797	0,1835	0,7112	0,7441
0,3448	0,455	0,0269	0,5837	0,5058	0,592	0,7655	0,0759	0,5499	0,3685	0,2217	0,5
0,5376	0,8794	0,3746	0,519	0,263	0,2391	0,7952	0,054	0,145	0,6256	0,1174	0,4799
0,7442	0,3479	0,1867	0,2991	0,0058	0,4858	0,1869	0,5308	0,853	0,7802	0,2967	0,9047
0,9294	0,4367	0,372	0,6902	0,925	0,9206	0,4898	0,7792	0,6221	0,0811	0,3188	0,6099
0,1284	0,1312	0,3308	0,6279	0,4945	0,3625	0,4456	0,934	0,351	0,9294	0,4242	0,6177
0,221	0,6534	0,0185	0,7764	0,2211	0,0635	0,6463	0,1299	0,5132	0,7757	0,5079	0,8594
0,8055	0,3724	0,8244	0,6377	0,6476	0,1921	0,4899	0,0527	0,9063	0,6951	0,2362	0,8611
0,5767	0,1981	0,9827	0,9577	0,679	0,1389	0,1679	0,7379	0,8797	0,068	0,1194	0,4849
0,1829	0,4897	0,7302	0,2407	0,6358	0,6963	0,9787	0,2691	0,8178	0,2548	0,6073	0,3935
0,2399	0,3395	0,3439	0,6761	0,9452	0,0938	0,7127	0,4228	0,2607	0,224	0,4501	0,6714
0,8865	0,9516	0,5841	0,2891	0,2089	0,5254	0,5005	0,5479	0,5944	0,6678	0,4587	0,7413
0,0287	0,9203	0,1078	0,6718	0,7093	0,5303	0,4711	0,9427	0,0225	0,8444	0,6619	0,5201

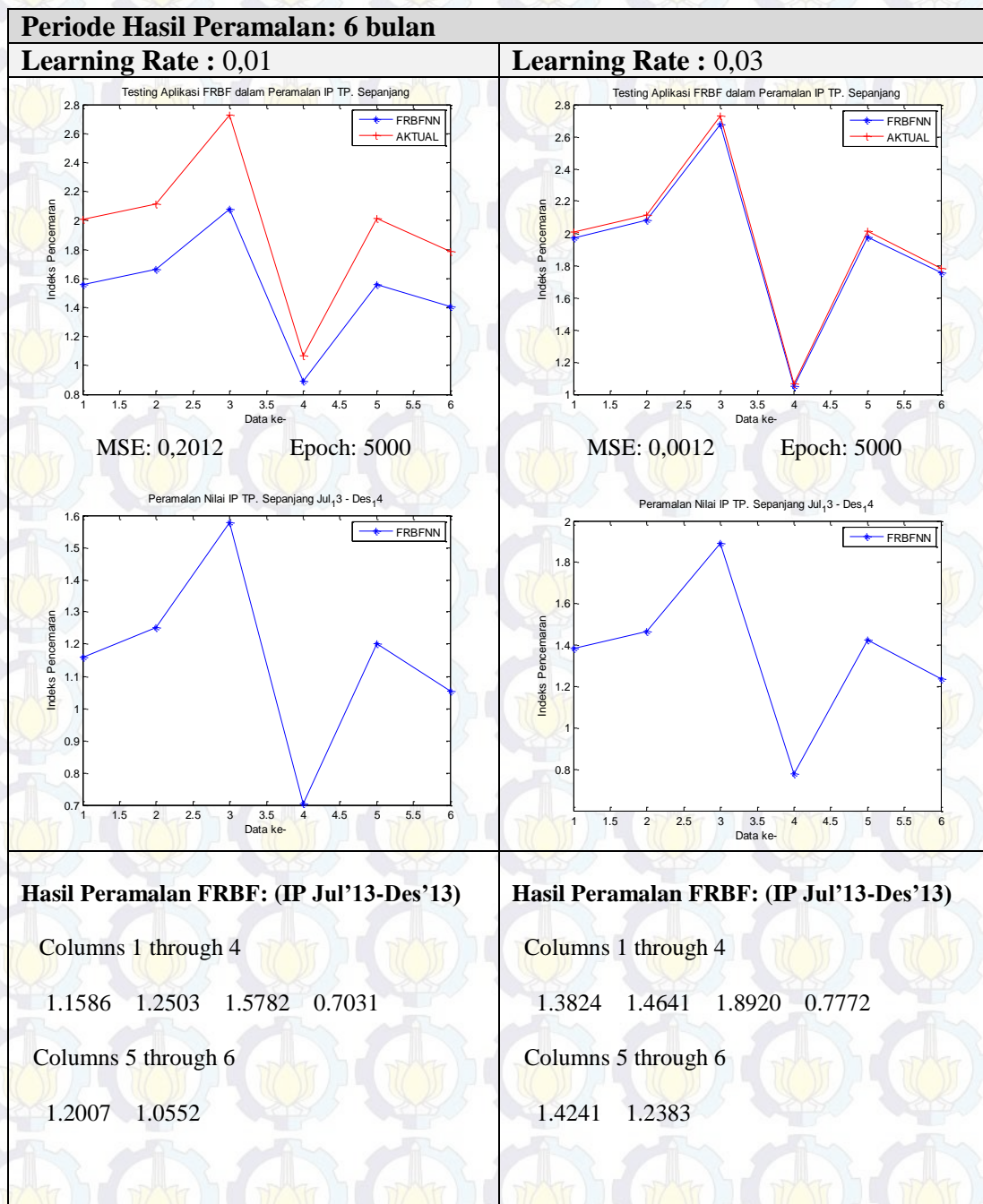
- Nilai Bobot Tambahan yang digunakan pada Peramalan (size:12x12)

0,328	0,5375	0,6852	0,868	0,8851	0,6065	0,7689	0,6787	0,5277	0,7691	0,1231	0,5651
0,3381	0,7291	0,6723	0,0264	0,1203	0,1741	0,1673	0,4952	0,4795	0,5814	0,2055	0,6403
0,8673	0,1321	0,833	0,6155	0,532	0,6313	0,862	0,1897	0,8013	0,9283	0,1465	0,417
0,6757	0,8942	0,4364	0,1983	0,1703	0,3568	0,9899	0,495	0,2278	0,5801	0,1891	0,206
0,017	0,4579	0,6357	0,8648	0,9656	0,6911	0,5144	0,1476	0,4981	0,017	0,0427	0,9479
0,5174	0,1006	0,6651	0,9282	0,9451	0,055	0,8843	0,055	0,9009	0,1209	0,6352	0,0821
0,5123	0,401	0,3558	0,8473	0,4917	0,3269	0,588	0,8507	0,5747	0,8627	0,2819	0,1057
0,396	0,8683	0,3185	0,0388	0,1673	0,6128	0,1548	0,5606	0,8452	0,4843	0,5386	0,142
0,9207	0,9574	0,6898	0,5272	0,7109	0,9828	0,1999	0,9296	0,7386	0,8449	0,6952	0,1665
0,9918	0,0214	0,0263	0,3638	0,7568	0,4547	0,407	0,6967	0,586	0,2094	0,4991	0,621
0,5547	0,945	0,9399	0,0701	0,4799	0,2533	0,7487	0,5828	0,2467	0,5523	0,5358	0,5737
0,5708	0,9219	0,6265	0,2483	0,8365	0,0372	0,8256	0,8154	0,6664	0,6299	0,4452	0,0521

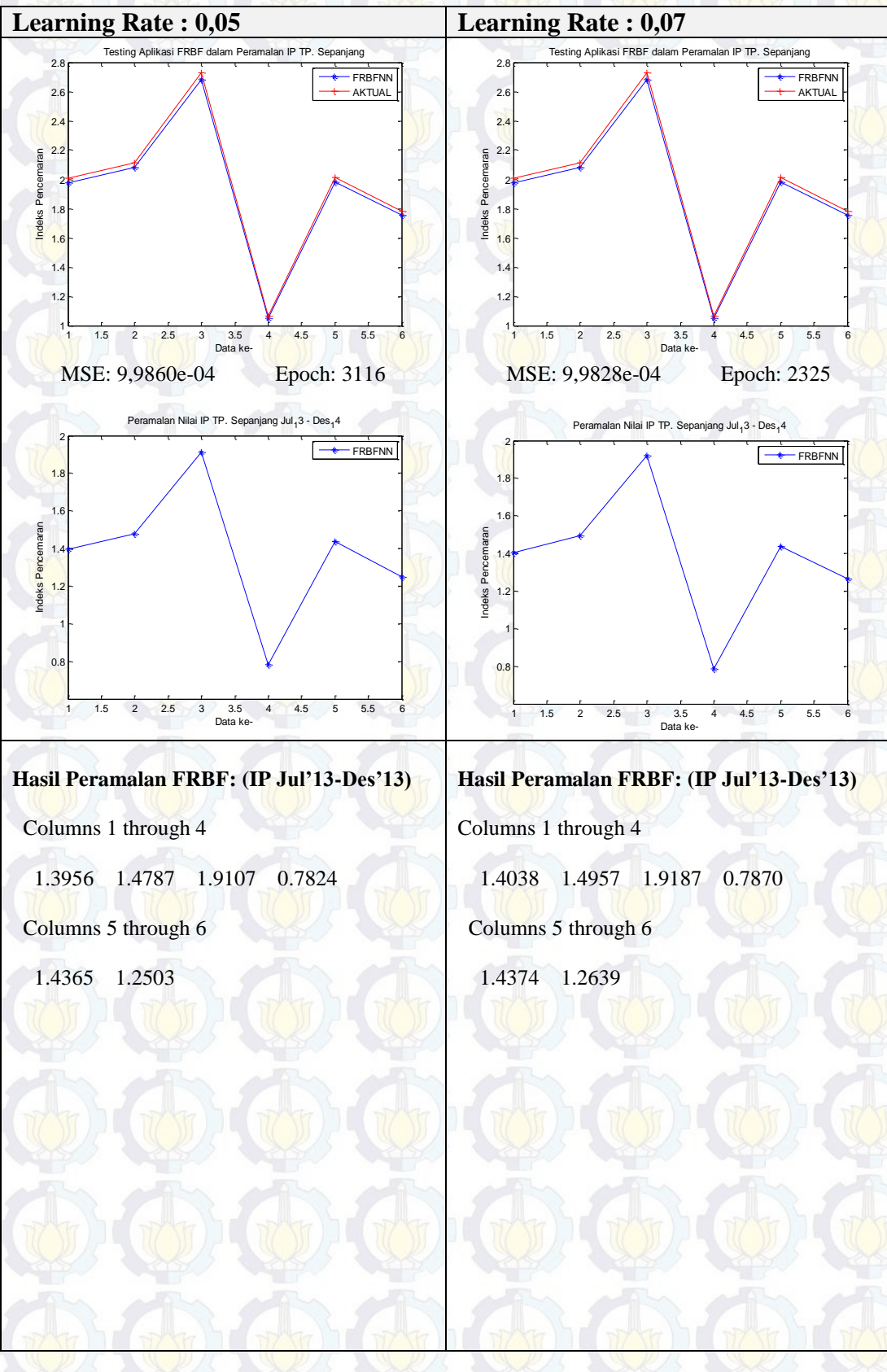
## LAMPIRAN 4

### OUTPUT PROGRAM

- Output Program FRBF untuk Indeks Pencemaran Kali Surabaya Titik Pantau Sepanjang

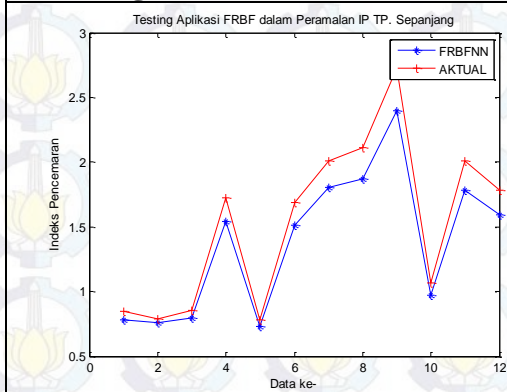






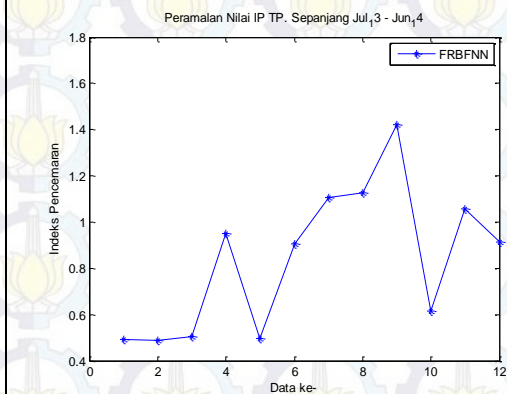
## Periode Hasil Peramalan: 1 Tahun

**Learning Rate : 0,01**

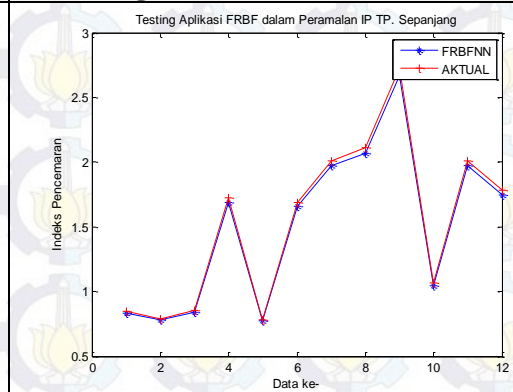


MSE: 0,0318

Epoch: 5000

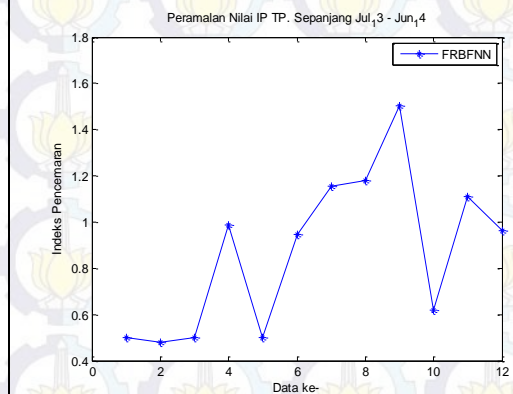


**Learning Rate : 0,03**



MSE: 9,9991e-04

Epoch: 3193



### Hasil Peramalan FRBF: (IP Jul'13-Jun'14)

Columns 1 through 4

0.4902 0.4889 0.5058 0.9493

Columns 5 through 8

0.4967 0.9044 1.1047 1.1253

Columns 9 through 12

1.4233 0.6148 1.0553 0.9141

### Hasil Peramalan FRBF: (IP Jul'13-Jun'14)

Columns 1 through 4

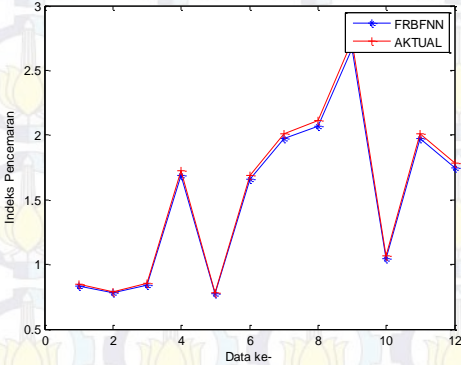
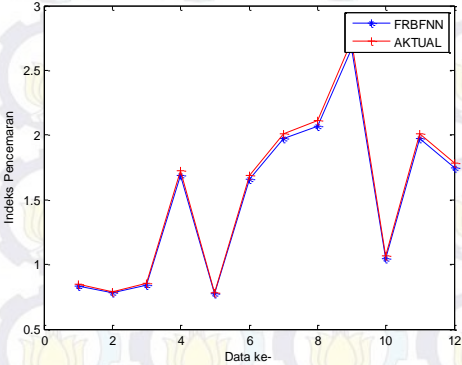
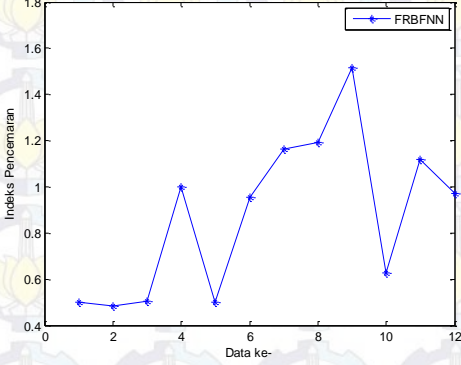
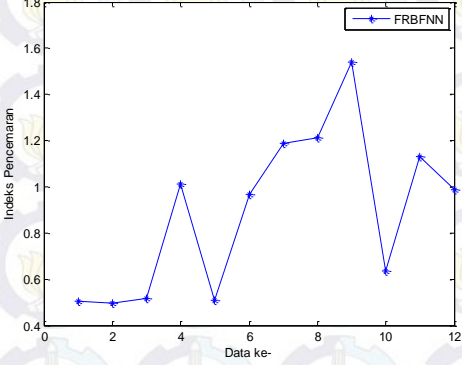
0.4988 0.4805 0.4993 0.9892

Columns 5 through 8

0.4986 0.9469 1.1534 1.1801

Columns 9 through 12

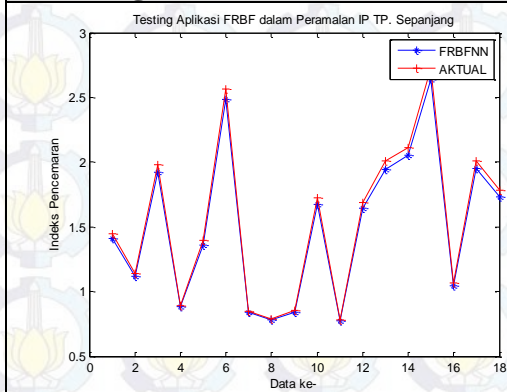
1.5012 0.6209 1.1094 0.9635

Learning Rate : 0,05				Learning Rate : 0,07			
<p>Testing Aplikasi FRBF dalam Peramalan IP TP. Sepanjang</p>  <p>MSE: 9,9958e-04      Epoch: 1938</p>				<p>Testing Aplikasi FRBF dalam Peramalan IP TP. Sepanjang</p>  <p>MSE: 9,9558e-04      Epoch: 1460</p>			
<p>Peramalan Nilai IP TP. Sepanjang Jul,3 - Jun,4</p> 				<p>Peramalan Nilai IP TP. Sepanjang Jul,3 - Jun,4</p> 			
<b>Hasil Peramalan FRBF: (IP Jul'13-Jun'14)</b>				<b>Hasil Peramalan FRBF: (IP Jul'13-Jun'14)</b>			
Columns 1 through 4				Columns 1 through 4			
0.5018   0.4836   0.5030   0.9981				0.5054   0.4964   0.5163   1.0130			
Columns 5 through 8				Columns 5 through 8			
0.5021   0.9554   1.1646   1.1920				0.5101   0.9652   1.1888   1.2121			
Columns 9 through 12				Columns 9 through 12			
1.5170   0.6257   1.1200   0.9730				1.5382   0.6347   1.1320   0.9880			



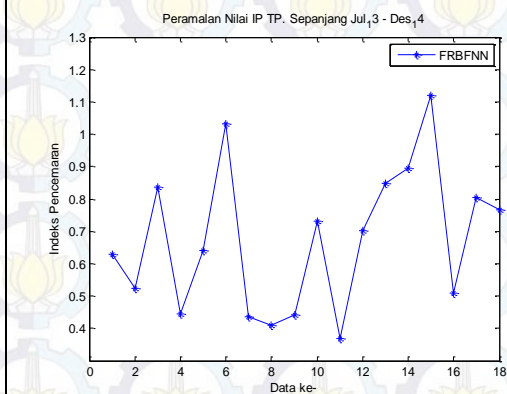
## Periode Hasil Peramalan: 1 tahun 6 bulan

**Learning Rate : 0,01**

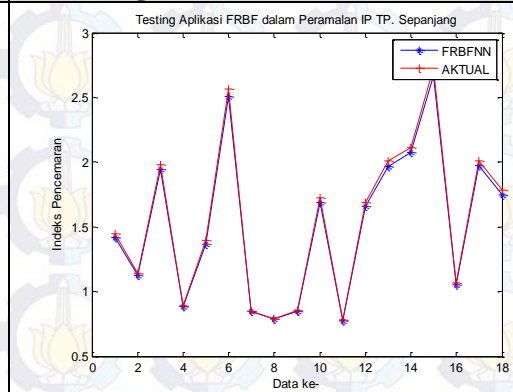


MSE: 0,0021

Epoch: 5000

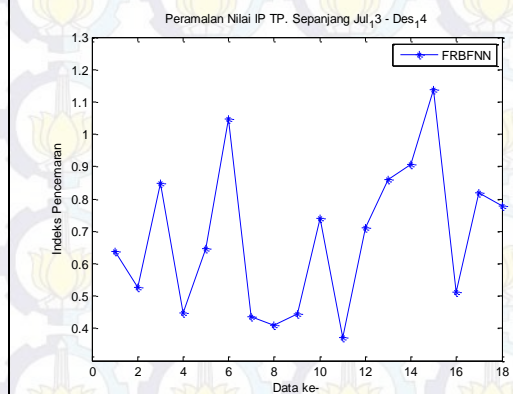


**Learning Rate : 0,03**



MSE: 9,9956e-04

Epoch: 1874



### Hasil Peramalan FRBF: (IP Jul'13-Des'14)

Columns 1 through 4

0.6287 0.5222 0.8357 0.4460

Columns 5 through 8

0.6405 1.0319 0.4364 0.4096

Columns 9 through 12

0.4414 0.7308 0.3690 0.7023

Columns 13 through 16

0.8489 0.8943 1.1189 0.5091

Columns 17 through 18

0.8058 0.7673

### Hasil Peramalan FRBF: (IP Jul'13-Des'14)

Columns 1 through 4

0.6372 0.5263 0.8479 0.4480

Columns 5 through 8

0.6478 1.0480 0.4368 0.4109

Columns 9 through 12

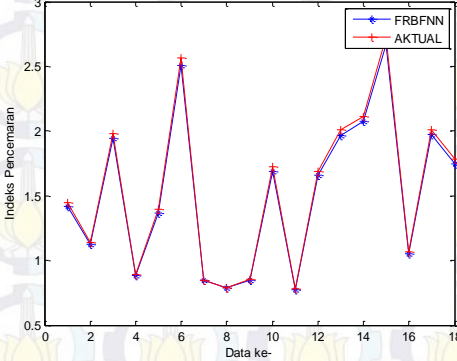
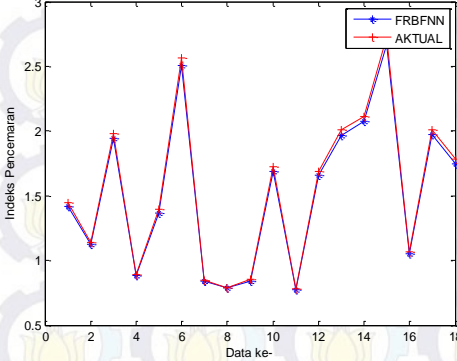
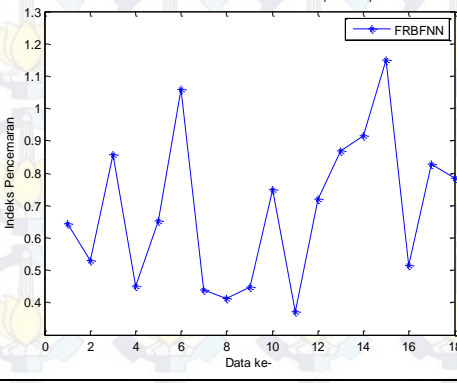
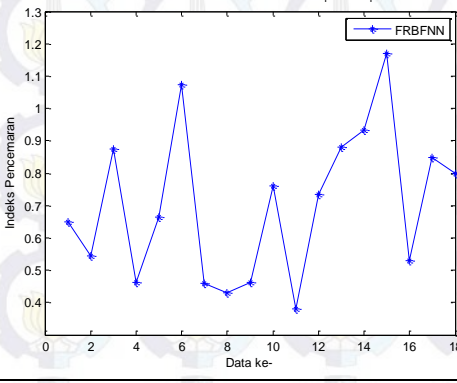
0.4442 0.7406 0.3706 0.7117

Columns 13 through 16

0.8611 0.9063 1.1379 0.5127

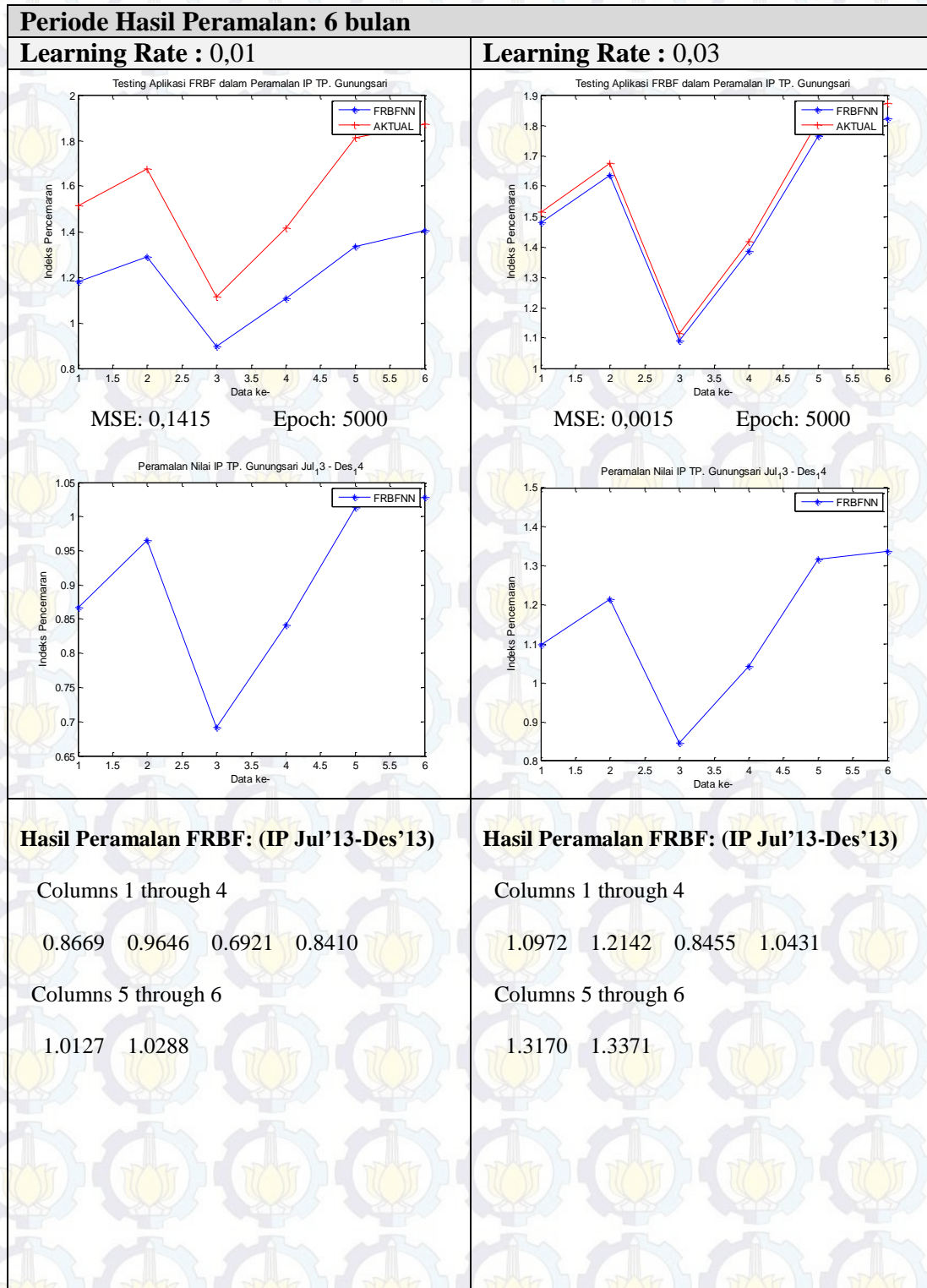
Columns 17 through 18

0.8181 0.7772

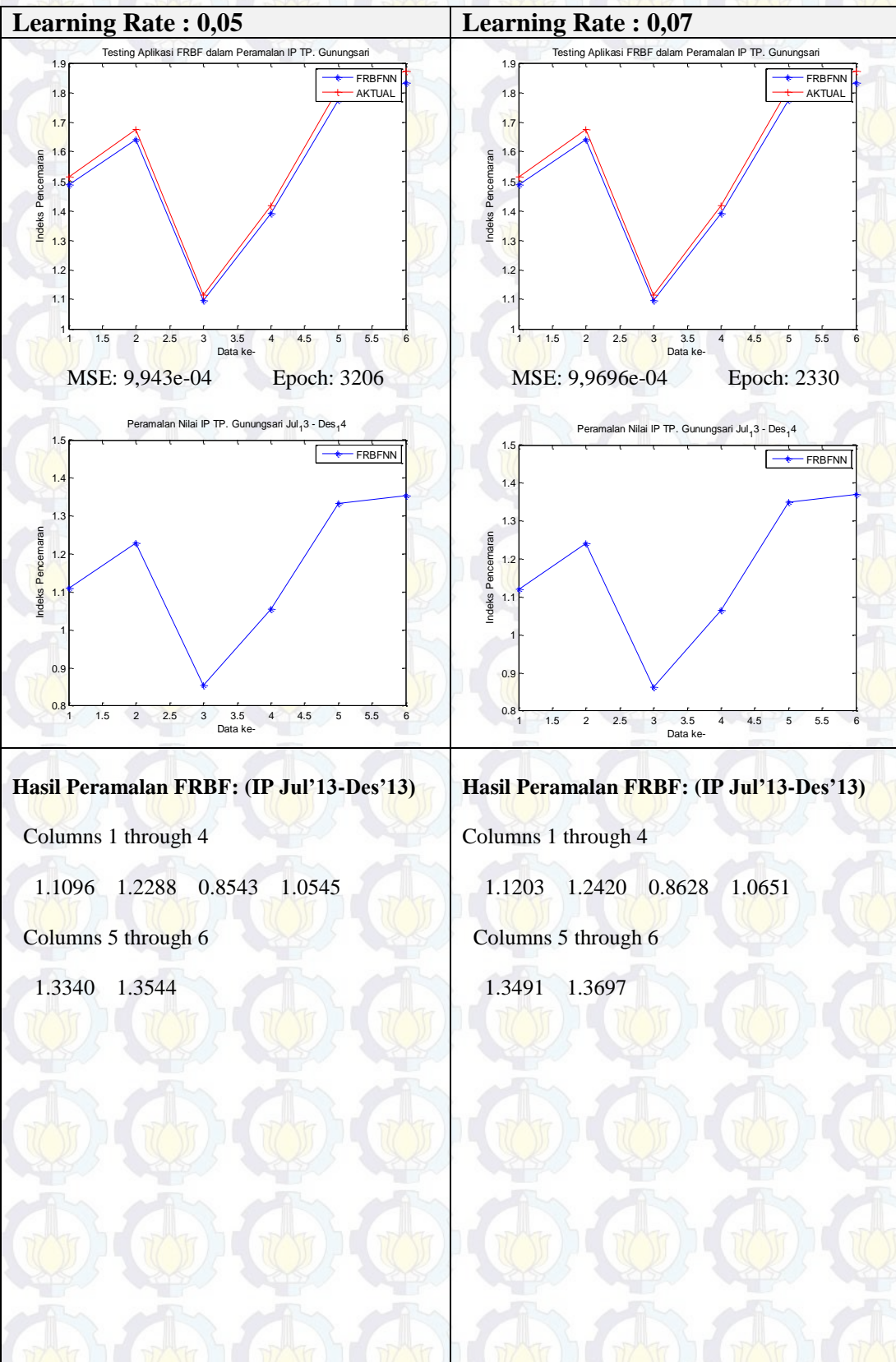
Learning Rate : 0,05	Learning Rate : 0,07
<p>Testing Aplikasi FRBF dalam Peramalan IP TP. Sepanjang</p>  <p>MSE: 9,9958e-04      Epoch: 1135</p>	<p>Testing Aplikasi FRBF dalam Peramalan IP TP. Sepanjang</p>  <p>MSE: 9,9947e-04      Epoch: 864</p>
<p>Peramalan Nilai IP TP. Sepanjang Jul<sub>13</sub> - Des<sub>14</sub></p> 	<p>Peramalan Nilai IP TP. Sepanjang Jul<sub>13</sub> - Des<sub>14</sub></p> 
<p><b>Hasil Peramalan FRBF: (IP Jul'13-Des'14)</b></p> <p>Columns 1 through 4</p> <p>0.6427   0.5297   0.8566   0.4504</p> <p>Columns 5 through 8</p> <p>0.6534   1.0590   0.4389   0.4129</p> <p>Columns 9 through 12</p> <p>0.4471   0.7476   0.3723   0.7184</p> <p>Columns 13 through 16</p> <p>0.8696   0.9150   1.1506   0.5161</p> <p>Columns 17 through 18</p> <p>0.8272   0.7844</p>	<p><b>Hasil Peramalan FRBF: (IP Jul'13-Des'14)</b></p> <p>Columns 1 through 4</p> <p>0.6499   0.5436   0.8755   0.4631</p> <p>Columns 5 through 8</p> <p>0.6645   1.0745   0.4590   0.4288</p> <p>Columns 9 through 12</p> <p>0.4629   0.7604   0.3807   0.7345</p> <p>Columns 13 through 16</p> <p>0.8805   0.9336   1.1691   0.5298</p> <p>Columns 17 through 18</p> <p>0.8485   0.7972</p>



- Output Program Perbandingan RBF dan FRBF untuk Indeks Pencemaran Kali Surabaya Titik Pantau Gunungsari

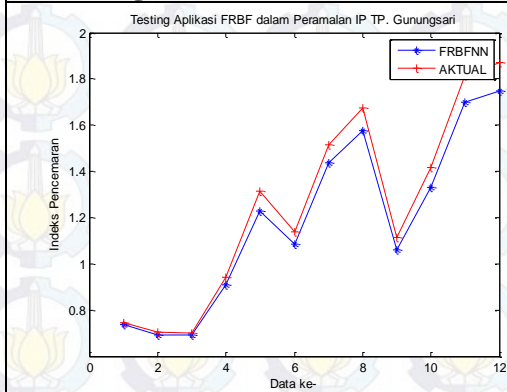






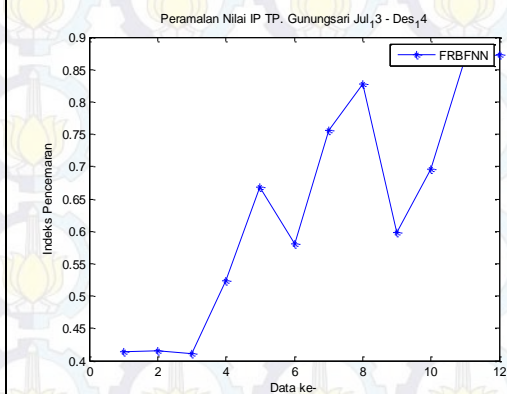
## Periode Hasil Peramalan: 1 Tahun

**Learning Rate : 0,01**

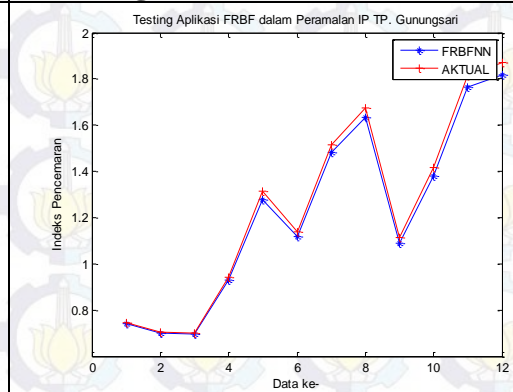


MSE: 0,0055

Epoch: 5000

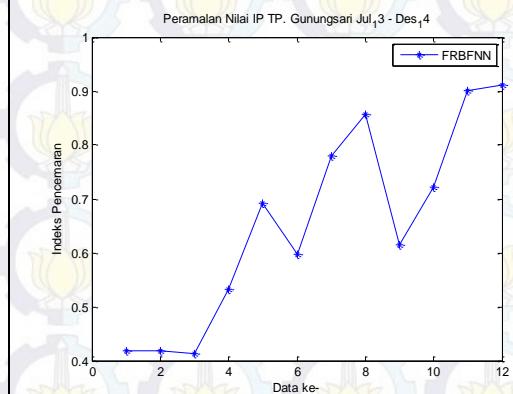


**Learning Rate : 0,03**



MSE: 9,9936e-04

Epoch: 2271



### Hasil Peramalan FRBF: (IP Jul'13-Jun'14)

Columns 1 through 4

0.4137 0.4156 0.4112 0.5230

Columns 5 through 8

0.6683 0.5798 0.7566 0.8282

Columns 9 through 12

0.5978 0.6958 0.8663 0.8723

### Hasil Peramalan FRBF: (IP Jul'13-Jun'14)

Columns 1 through 4

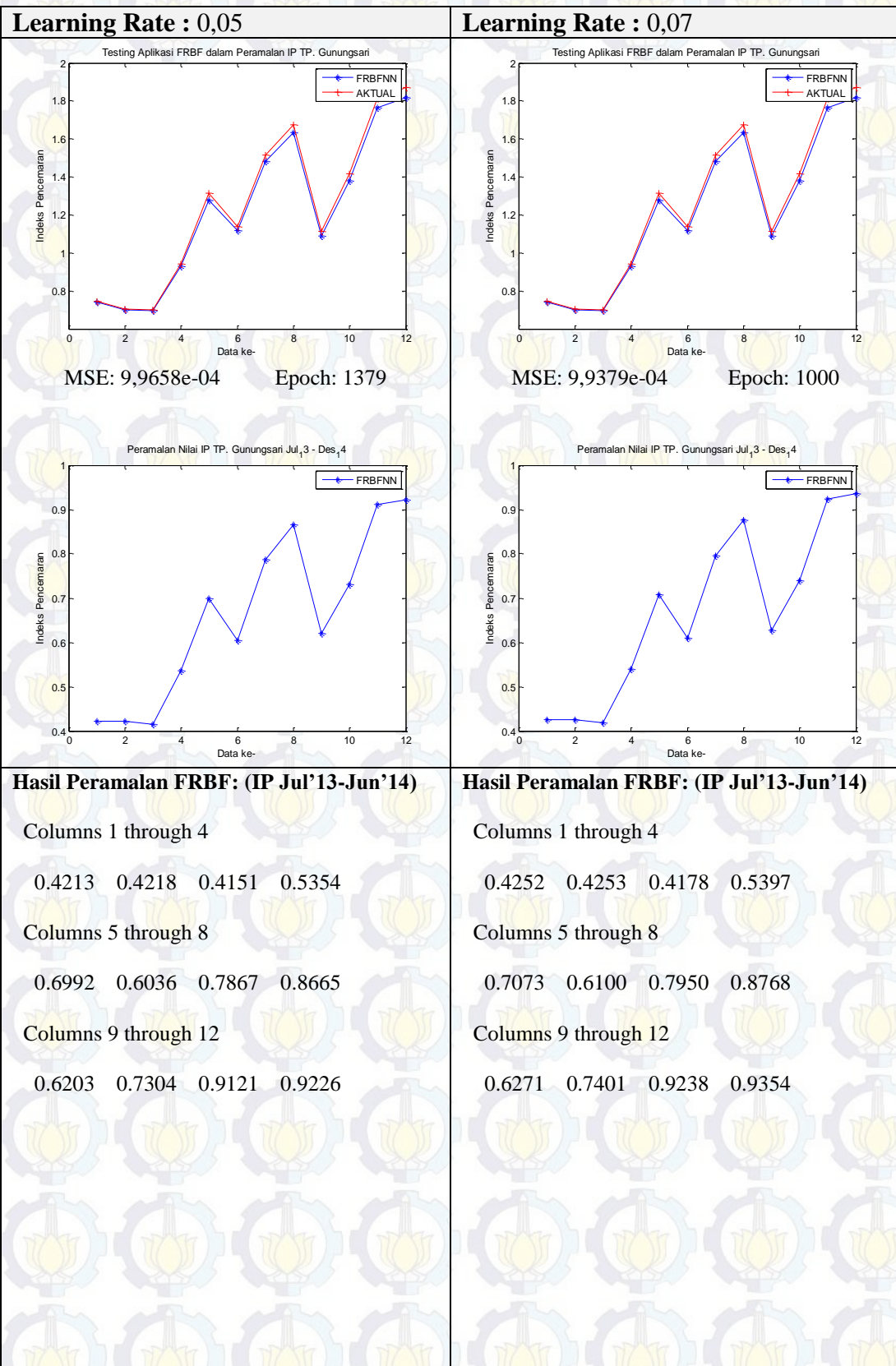
0.4183 0.4190 0.4129 0.5316

Columns 5 through 8

0.6917 0.5978 0.7791 0.8570

Columns 9 through 12

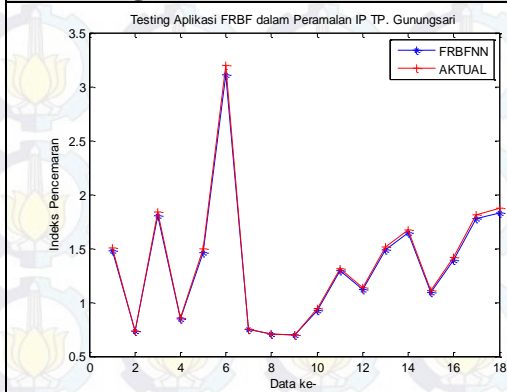
0.6142 0.7215 0.9013 0.9108



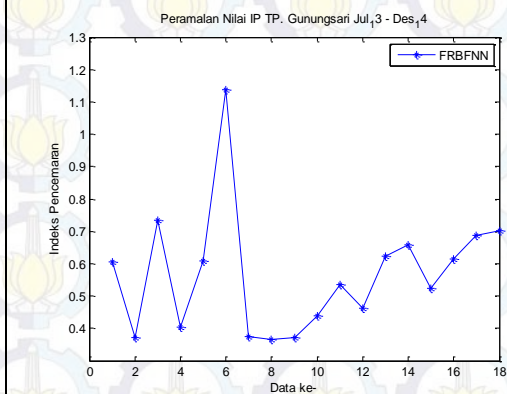


## Periode Hasil Peramalan: 1 tahun 6 bulan

**Learning Rate : 0,01**



MSE: 9,9936e-04 Epoch: 4175



### Hasil Peramalan FRBF: (IP Jul'13-Des'14)

Columns 1 through 4

0.6056 0.3728 0.7343 0.4046

Columns 5 through 8

0.6080 1.1388 0.3754 0.3648

Columns 9 through 12

0.3724 0.4378 0.5339 0.4613

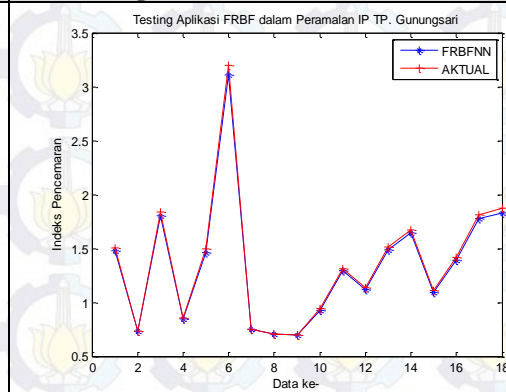
Columns 13 through 16

0.6243 0.6584 0.5229 0.6131

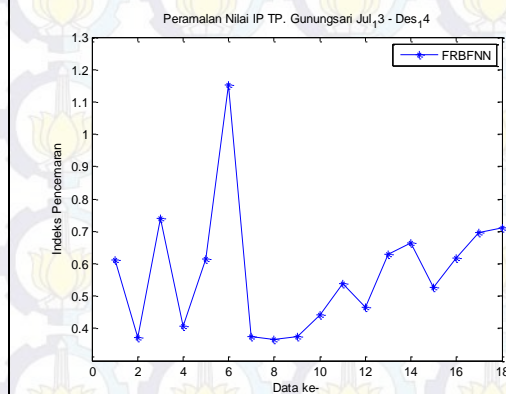
Columns 17 through 18

0.6886 0.7031

**Learning Rate : 0,03**



MSE: 9,9530e-04 Epoch: 1399



### Hasil Peramalan FRBF: (IP Jul'13-Des'14)

Columns 1 through 4

0.6101 0.3729 0.7408 0.4061

Columns 5 through 8

0.6138 1.1527 0.3753 0.3649

Columns 9 through 12

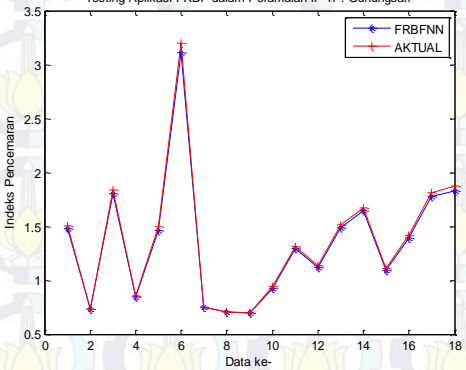
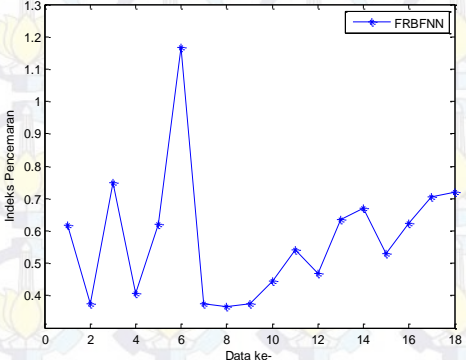
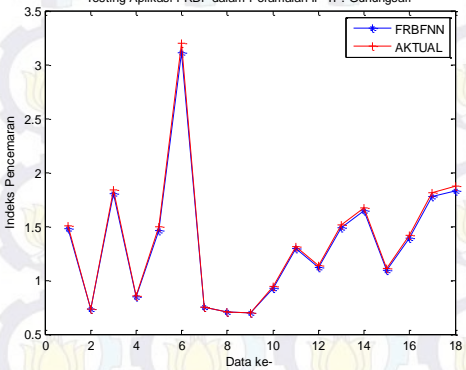
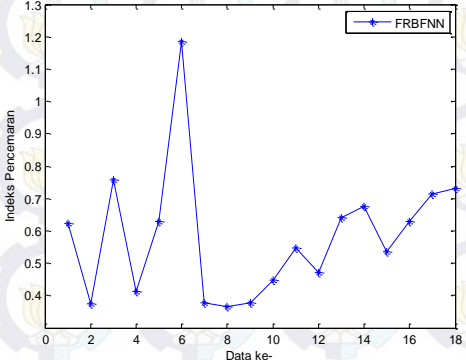
0.3737 0.4405 0.5379 0.4645

Columns 13 through 16

0.6288 0.6636 0.5265 0.6176

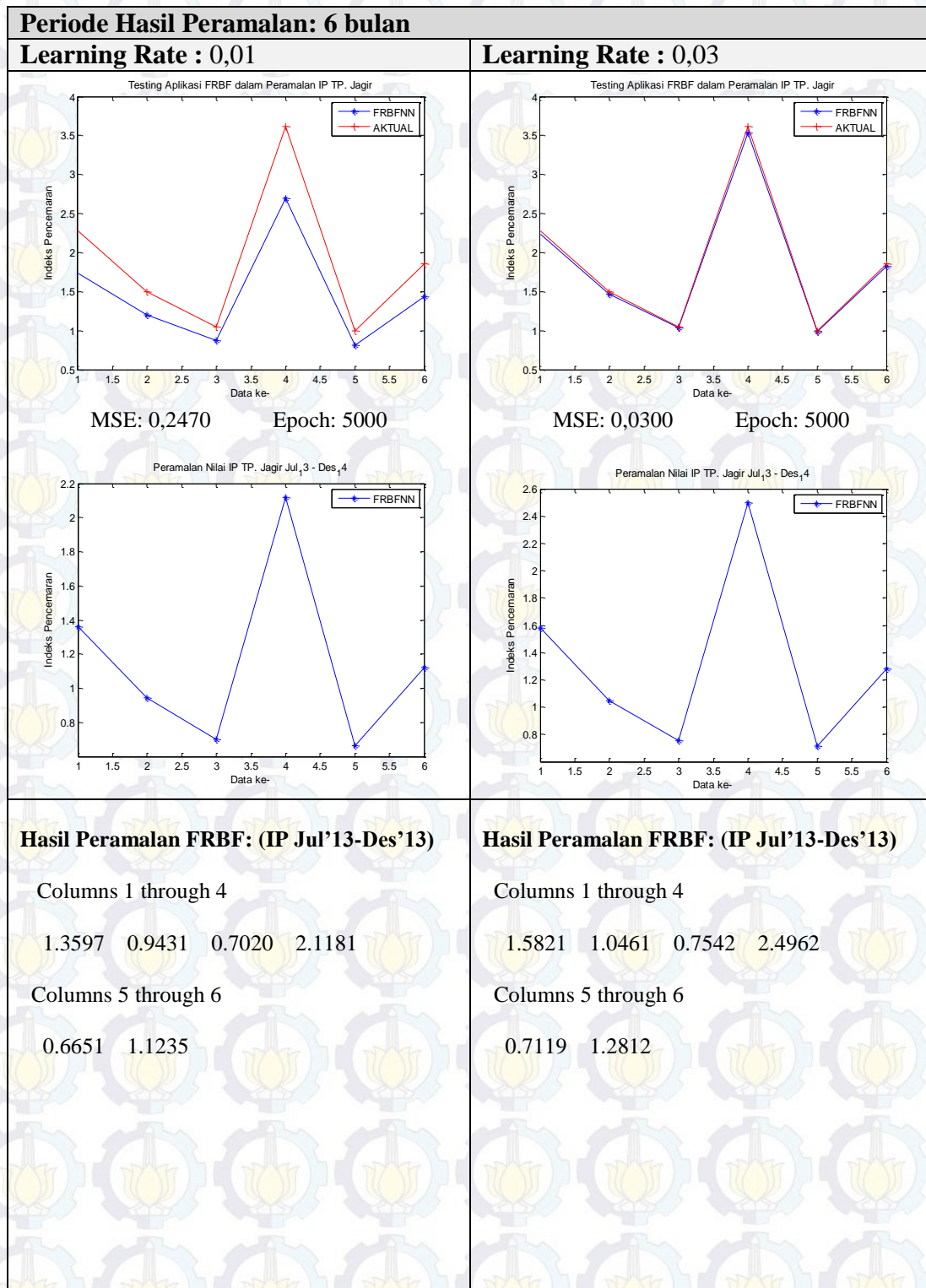
Columns 17 through 18

0.6958 0.7107

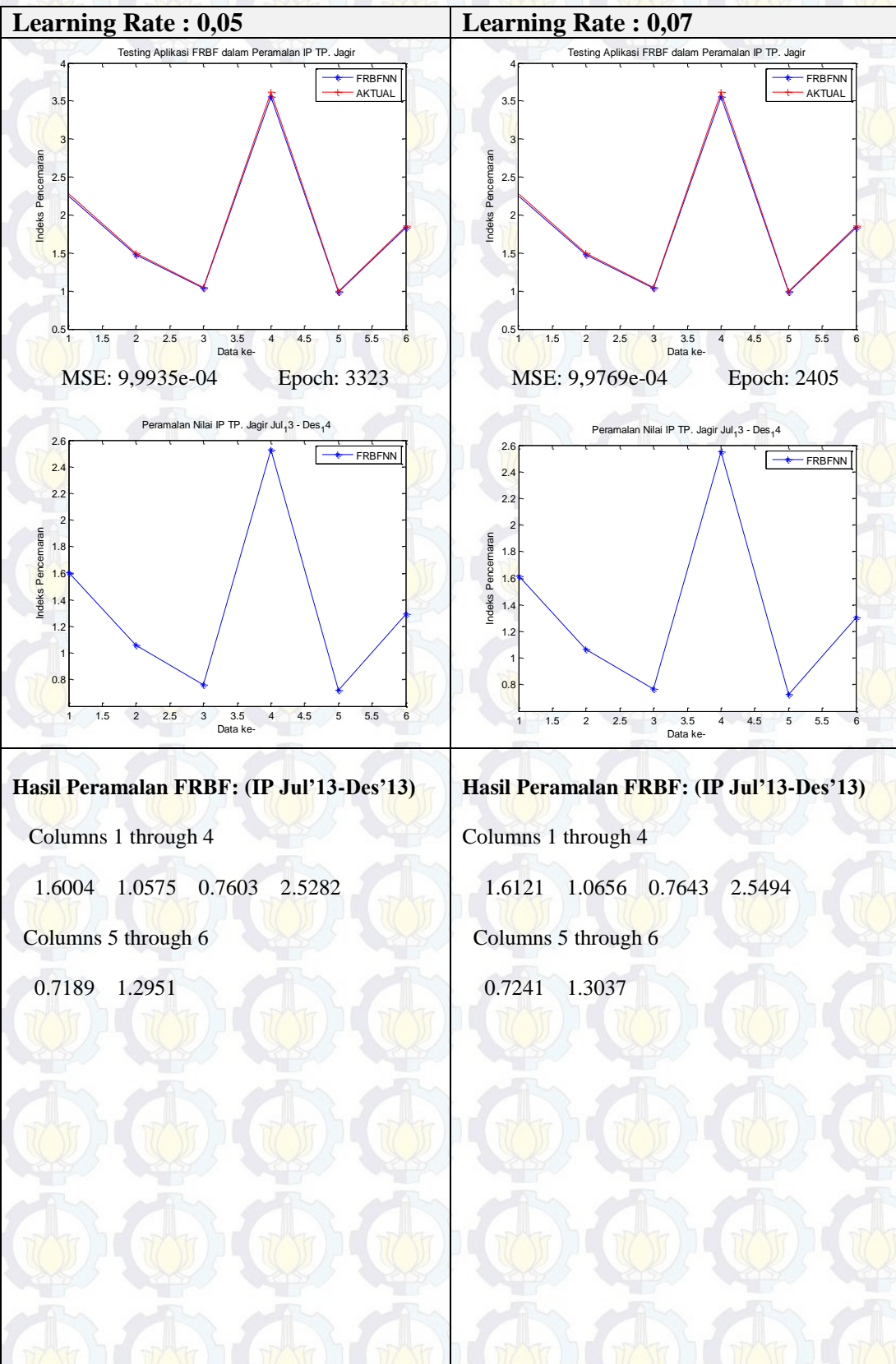
Learning Rate : 0,05	Learning Rate : 0,07
<p>Testing Aplikasi FRBF dalam Peramalan IP TP. Gunungsari</p>  <p>MSE: 9,9676e-04      Epoch: 846</p> <p>Peramalan Nilai IP TP. Gunungsari Jul<sub>1</sub>3 - Des<sub>1</sub>4</p> 	<p>Testing Aplikasi FRBF dalam Peramalan IP TP. Gunungsari</p>  <p>MSE: 9,9510e-04      Epoch: 613</p> <p>Peramalan Nilai IP TP. Gunungsari Jul<sub>1</sub>3 - Des<sub>1</sub>4</p> 
<p><b>Hasil Peramalan FRBF: (IP Jul'13-Des'14)</b></p> <p>Columns 1 through 4</p> <p>0.6158   0.3732   0.7480   0.4081</p> <p>Columns 5 through 8</p> <p>0.6205   1.1677   0.3757   0.3653</p> <p>Columns 9 through 12</p> <p>0.3757   0.4440   0.5427   0.4679</p> <p>Columns 13 through 16</p> <p>0.6344   0.6693   0.5309   0.6228</p> <p>Columns 17 through 18</p> <p>0.7042   0.7195</p>	<p><b>Hasil Peramalan FRBF: (IP Jul'13-Des'14)</b></p> <p>Columns 1 through 4</p> <p>0.6227   0.3740   0.7567   0.4113</p> <p>Columns 5 through 8</p> <p>0.6284   1.1850   0.3766   0.3662</p> <p>Columns 9 through 12</p> <p>0.3786   0.4485   0.5484   0.4720</p> <p>Columns 13 through 16</p> <p>0.6413   0.6761   0.5361   0.6295</p> <p>Columns 17 through 18</p> <p>0.7143   0.7299</p>



- Output Program Perbandingan RBF dan FRBF untuk Indeks Pencemaran Kali Surabaya Titik Pantau Jagir

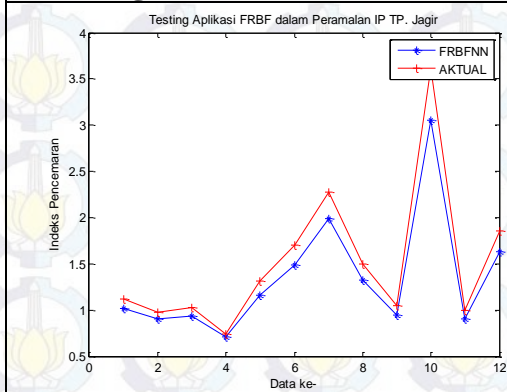






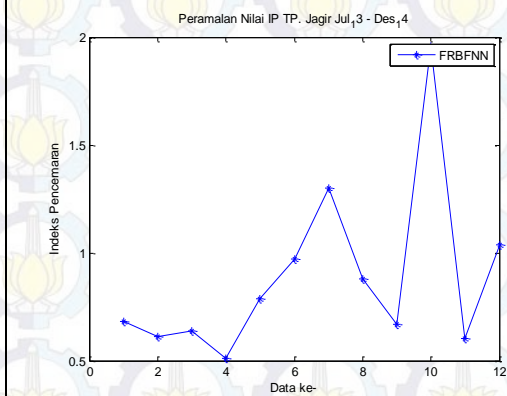
## Periode Hasil Peramalan: 1 Tahun

**Learning Rate : 0,01**



MSE: 0,0505

Epoch: 5000



### Hasil Peramalan FRBF: (IP Jul'13-Jun'14)

Columns 1 through 4

0.6799 0.6130 0.6371 0.5092

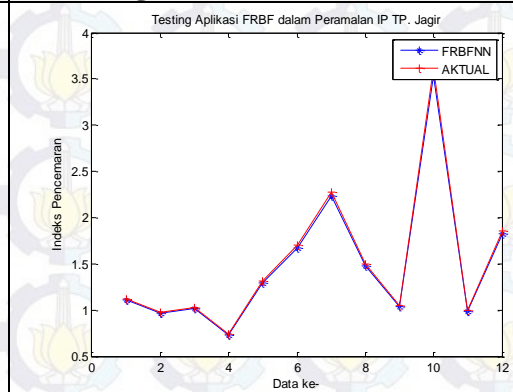
Columns 5 through 8

0.7860 0.9706 1.2992 0.8782

Columns 9 through 12

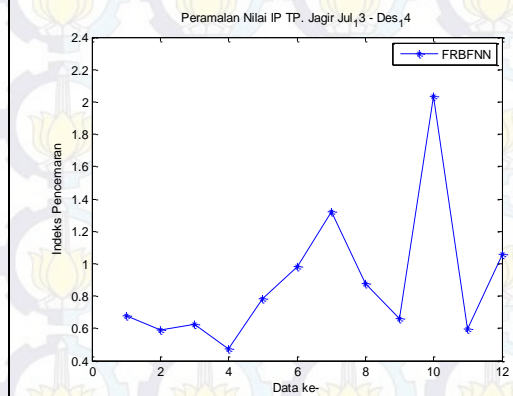
0.6673 1.9575 0.6030 1.0377

**Learning Rate : 0,03**



MSE: 9,9975e-04

Epoch: 3572



### Hasil Peramalan FRBF: (IP Jul'13-Jun'14)

Columns 1 through 4

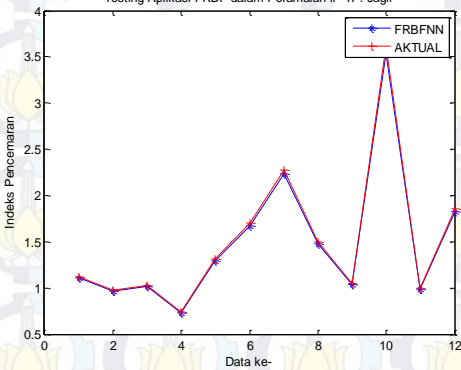
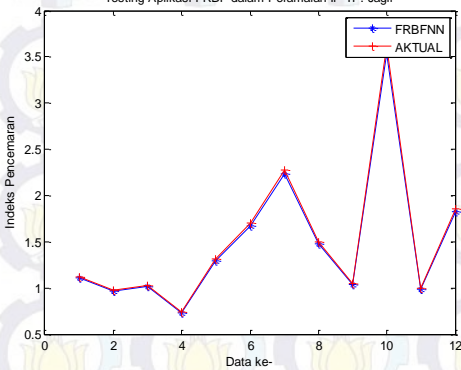
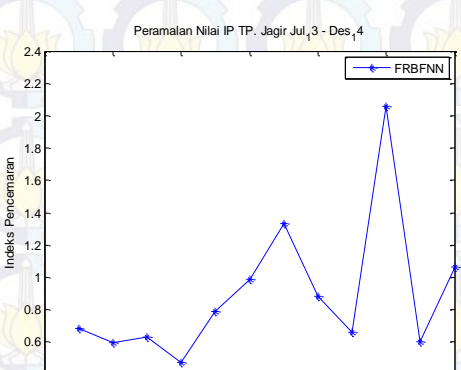
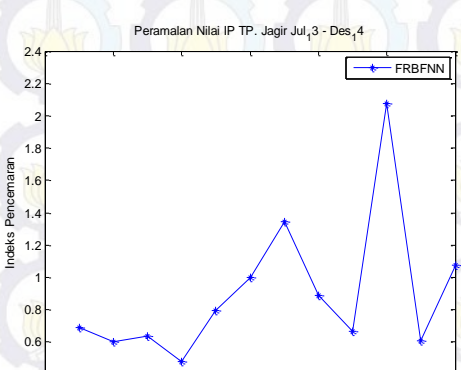
0.6777 0.5921 0.6271 0.4740

Columns 5 through 8

0.7817 0.9818 1.3190 0.8746

Columns 9 through 12

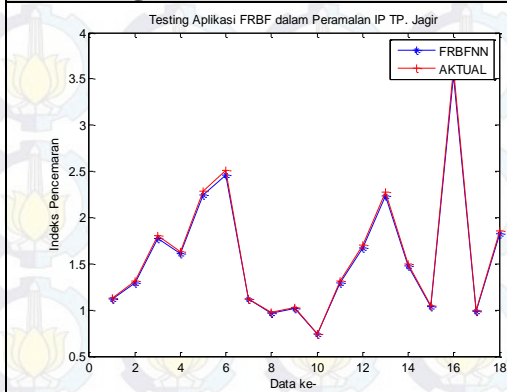
0.6584 2.0367 0.5966 1.0559

Learning Rate : 0,05	Learning Rate : 0,07
<p>Testing Aplikasi FRBF dalam Peramalan IP TP. Jagir</p>  <p>MSE: 9,9798e-04      Epoch: 2167</p>	<p>Testing Aplikasi FRBF dalam Peramalan IP TP. Jagir</p>  <p>MSE: 9,9539e-04      Epoch: 1569</p>
<p>Peramalan Nilai IP TP. Jagir Jul,3 - Des,4</p> 	<p>Peramalan Nilai IP TP. Jagir Jul,3 - Des,4</p> 
<p><b>Hasil Peramalan FRBF: (IP Jul'13-Jun'14)</b></p> <p>Columns 1 through 4</p> <p>0.6829   0.5962   0.6324   0.4757</p> <p>Columns 5 through 8</p> <p>0.7872   0.9895   1.3300   0.8817</p> <p>Columns 9 through 12</p> <p>0.6631   2.0558   0.6015   1.0652</p>	<p><b>Hasil Peramalan FRBF: (IP Jul'13-Jun'14)</b></p> <p>Columns 1 through 4</p> <p>0.6887   0.6009   0.6387   0.4778</p> <p>Columns 5 through 8</p> <p>0.7930   0.9977   1.3418   0.8897</p> <p>Columns 9 through 12</p> <p>0.6683   2.0757   0.6072   1.0752</p>

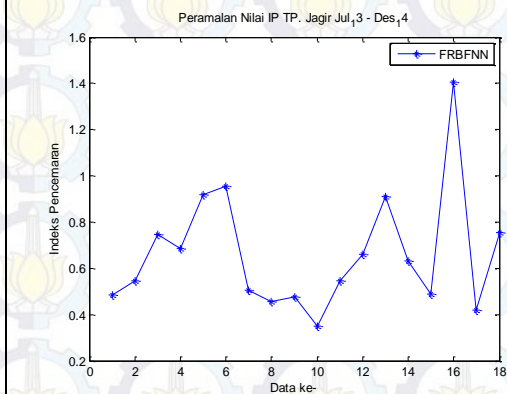


## Periode Hasil Peramalan: 1 tahun 6 bulan

**Learning Rate : 0,01**



MSE: 0,0010 Epoch: 5000



### Hasil Peramalan FRBF: (IP Jul'13-Des'14)

Columns 1 through 4

0.4828 0.5439 0.7464 0.6855

Columns 5 through 8

0.9184 0.9572 0.5049 0.4541

Columns 9 through 12

0.4768 0.3502 0.5473 0.6625

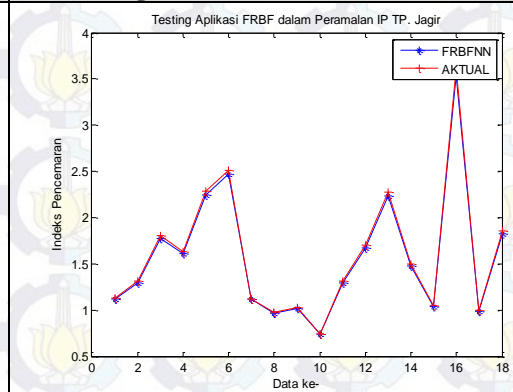
Columns 13 through 16

0.9115 0.6335 0.4885 1.4070

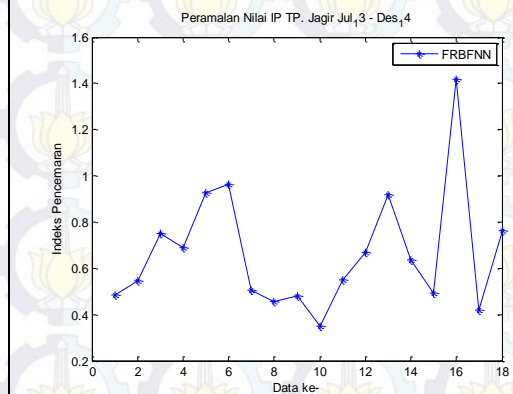
Columns 17 through 18

0.4173 0.7558

**Learning Rate : 0,03**



MSE: 9,9640e-04 Epoch: 1768



### Hasil Peramalan FRBF: (IP Jul'13-Des'14)

Columns 1 through 4

0.4854 0.5467 0.7517 0.6896

Columns 5 through 8

0.9261 0.9652 0.5069 0.4555

Columns 9 through 12

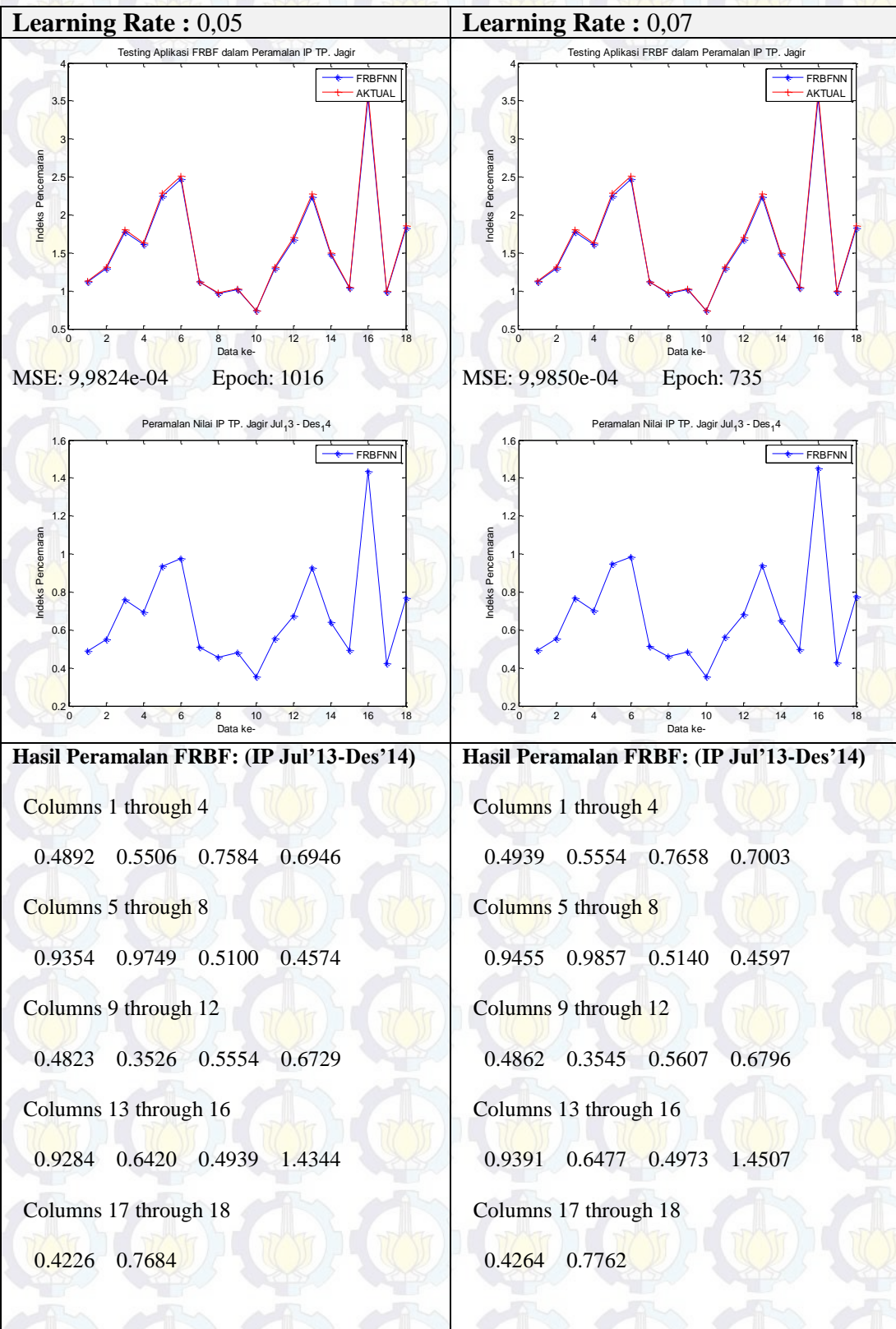
0.4791 0.3511 0.5508 0.6670

Columns 13 through 16

0.9190 0.6371 0.4909 1.4195

Columns 17 through 18

0.4195 0.7615



# Aplikasi Jaringan Syaraf *Fuzzy Radial Basis Function* (*FRBF*) untuk Peramalan Indeks Pencemaran Kali Surabaya Segmen Sepanjang - Jagir

Nisa Ayunda<sup>1</sup>, Mohammad Isa Irawan<sup>2</sup>, Nieke Karnaningroem<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup>Program Studi Pascasarjana Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,

<sup>3</sup>Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan,  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)  
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

<sup>1</sup>ayundanisa15@gmail.com, <sup>2</sup>mii@its.ac.id, <sup>3</sup>nieke@enviro.its.ac.id

**Abstrak** — Air Kali Surabaya yang dijadikan sebagai air baku air minum oleh PDAM Surabaya harus dipertahankan kualitasnya sesuai dengan Baku Mutu Air Minum. Adanya masukan dari Kali Tengah pada segmen Sepanjang – Jagir berpengaruh pada banyaknya kandungan pencemar terutama bahan organik pada Kali Surabaya. Peramalan data *time series* indeks pencemaran dapat digunakan sebagai referensi dalam upaya pengelolaan dan pemantauan pada Kali Surabaya khususnya segmen Sepanjang – Jagir. Terbatasnya data yang tersedia dan karakteristik data yang berbeda berpengaruh pada hasil peramalan. Oleh karena itu teori *fuzzy* diterapkan pada jaringan syaraf *Fuzzy Radial Basis Function* untuk peramalan indeks pencemaran Kali Surabaya segmen Sepanjang – Jagir. Penetapan indeks pencemaran Kali Surabaya segmen Sepanjang – Jagir dilakukan sesuai dengan metode indeks pencemaran. Sedangkan peramalan indeks pencemaran dilakukan dengan jaringan syaraf *Fuzzy Radial Basis Function*. Hasil peramalan yang didapat digunakan untuk peramalan status mendatang. Indeks pencemaran Kali Surabaya segmen Sepanjang-Jagir pada Januari 2008 hingga Juni 2013 memiliki rentang nilai yaitu 0,6836 hingga 3,1366 (untuk titik pantau Sepanjang), 0,6579 dan 3,1961 (untuk titik pantau Gunungsari), dan 0,6714 dan 3,6174 (untuk titik pantau Jagir). Berdasarkan proses testing dengan learning rate pada rentang 0,01 dan 0,07 terlihat kecenderungan bahwa semakin kecil learning rate semakin besar nilai kesalahannya sedangkan untuk learning rate lebih dari 0,07 memiliki nilai kesalahan yang semakin besar sehingga learning rate sebesar 0,07 merupakan learning rate terbaik. Sedangkan periode hasil peramalan terbaik yaitu periode 1 tahun yang sesuai dengan tren *time series* data tersebut. Sedangkan hasil peramalan indeks pencemaran Kali Surabaya segmen Sepanjang – Jagir untuk Juli 2013 – Juni 2014 yaitu pada rentang 0,4964 hingga 1,5382 (untuk titik pantau Sepanjang), rentang 0,4252 hingga 0,9354 (untuk titik pantau Gunungsari), dan pada rentang 0,4778 hingga 2,0757 (untuk titik pantau Jagir).

**Kata Kunci** — model epidemi *SEIT*, tingkat kejadian tersaturasi, titik kesetimbangan, kestabilan, pengobatan, kontrol optimal, Prinsip Pontryagin.

## I. PENDAHULUAN

Salah satu sumber kehidupan yang terpenting di dunia adalah air. Air dari Kali Surabaya digunakan untuk berbagai keperluan seperti irigasi, air minum, air industri dan penggelontoran. Sesuai dengan peruntukan tersebut, menurut SK Gubernur Kepala Daerah Jawa Timur No.413 Th. 1997, Kali Surabaya yang merupakan salah satu sumber air minum diharapkan memenuhi standar mutu kualitas air baku kelas B. Masalah utama yang sering timbul adalah rendahnya kualitas air Kali Surabaya seperti tingkat COD yang tinggi mencapai rata-rata 20 mg/l melebihi ambang batas kelas B (10 mg/l). Rendahnya kualitas air Kali Surabaya tersebut diperkirakan akibat banyaknya bahan pencemar yang dibuang di Kali Surabaya.

Perlu dilakukan upaya pengelolaan dan pemantauan air Kali Surabaya khususnya pada segmen yang terdapat titik pengambilan air baku PDAM Surabaya, seperti segmen Gunungsari – Jagir yang terdapat IPAM Ngagel. Selain itu, juga disebutkan bahwa dari segmen Cangkir – Sepanjang, segmen yang masih memenuhi persyaratan pada air baku air minum hanya pada segmen Cangkir – Bambe [1]. Salah satu penyebab terjadinya keadaan tersebut yaitu terlalu banyaknya kandungan pencemar terutama bahan organik di lokasi sebelum segmen Sepanjang, salah satu diantaranya adalah adanya masukan dari Kali Tengah. Berbagai upaya telah dilakukan oleh Pemerintah untuk menjaga dan memperbaiki kualitas, diantaranya adalah telah dilakukannya upaya pengelolaan air sungai Kali Tengah sebelum dialirkan ke Kali Surabaya [2], monitoring kualitas air Kali Surabaya baik oleh Dinas Pengairan Jatim ataupun Perum Jasa Tirta secara kontinu, dan berbagai studi mengenai Kali Surabaya, namun hasilnya belum dioptimalkan.

Sebuah penelitian melakukan estimasi kualitas air pada Kali Surabaya untuk suatu waktu, hanya saja bagaimana perilaku sistem belum bisa dianalisis sehingga sulit untuk digunakan apabila perubahan cepat pada kondisi sungai terjadi [3]. Penetapan indeks pencemaran merupakan pelaksanaan pengendalian pencemaran air yang menggunakan pendekatan indeks kualitas air (*water quality-based control index*). Nilai indeks pencemaran secara *time series* dapat dianalisis untuk mengenali sistem perairan tersebut.



Pemodelan jaringan syaraf tiruan merupakan kajian rekayasa sistem yang dapat digunakan untuk menganalisis mekanisme, pola, perilaku dan kecenderungan sistem [4]. Jaringan syaraf banyak diterapkan pada data *time series* sebagai fungsi terhadap waktu  $t$ . Tujuannya adalah untuk meramalkan nilai pada waktu yang akan datang [5]. Dimisalkan terdapat variabel tunggal  $x_t$ . Salah satu pendekatannya adalah untuk membangkitkan suatu barisan nilai diskrit  $x_{t-1}, x_t, x_{t+1}$  dan seterusnya. Diambil  $d$  sedemikian hingga terdapat  $x_{t-d+1}, \dots, x_t$  sebagai inputan pada jaringan dari nilai  $x_{t+1}$  sebagai target untuk output jaringan. Tujuan dari metode ini adalah untuk mengidentifikasi pola data histori dan kemudian mengekstrapolasi pola ini ke masa datang. Dalam metode pengidentifikasian pola data masa lalu dilakukan dengan membuat jaringan syaraf buatan tersebut dilatih untuk bisa menirukan pola data. Pemilihan algoritma dan parameter yang bersesuaian dan penentuan berapa banyak perangkat data yang dibutuhkan dalam *learning process* ini sangat penting untuk menentukan akurasi dari peramalan yang dihasilkan.

Jaringan syaraf *Radial Basis Function* adalah model jaringan syaraf dengan satu *hidden layer*, dengan fungsi aktivasinya adalah *Radial Basis Function* dan fungsi linear pada lapisan *output*. Model jaringan syaraf *Radial Basis Function* memiliki sifat *supervised learning* yang dapat digunakan sebagai metode peramalan karena data yang harus dilatihkan adalah berupa pasangan data *input* dan target. Dengan pertimbangan kemungkinan terjadinya kesalahan paralaks dalam pengukuran serta terbatasnya data dan karakteristik data yang berbeda, aplikasi teori *fuzzy* digunakan sebagai *unsupervised learning* dalam model. Model yang terbentuk adalah model jaringan syaraf *Fuzzy Radial Basis Function* yang bersifat *unsupervised-supervised learning*.

Pada penelitian ini, model jaringan syaraf *Fuzzy Radial Basis Function* diharapkan dapat mengembangkan kualitas hasil peramalan dari terbatasnya data dan karakteristik data yang berbeda antar parameter kualitas air. Hasil peramalan nilai indeks pencemaran Kali Surabaya dengan menggunakan model jaringan syaraf *Fuzzy Radial Basis Function* digunakan untuk meramalkan nilai indeks pencemaran Kali Surabaya satu tahun berikutnya. Hasil peramalan indeks pencemaran Kali Surabaya dapat digunakan sebagai acuan dalam upaya pengelolaan dan pemantauan kualitas air Kali Surabaya.

Tujuan pertama dari penelitian ini adalah menetapkan nilai indeks pencemaran Kali Surabaya segmen Sepanjang-Jagir berdasarkan nilai parameter kualitas air pada Januari 2008 hingga Juni 2013. Sedangkan tujuan selanjutnya adalah memodelkan dan menggunakan jaringan syaraf *Fuzzy Radial Basis Function* untuk identifikasi dan peramalan nilai indeks pencemaran Kali Surabaya segmen Sepanjang-Jagir. Tujuan akhir dari penelitian ini adalah menetapkan kondisi pencemaran Kali Surabaya segmen Sepanjang-Jagir pada Juli 2013 hingga Juni 2014 berdasarkan hasil peramalan nilai indeks pencemaran Kali Surabaya segmen Sepanjang-Jagir.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Metode Indeks Pencemaran

Objek penelitian ini adalah data *time series* nilai indeks pencemaran Kali Surabaya. Nilai indeks pencemaran adalah nilai hasil evaluasi terhadap nilai beberapa parameter kualitas air dalam tiap waktu pengukuran dengan menggunakan metode indeks pencemaran. Langkah-langkah penentuan nilai indeks pencemaran dengan metode indeks pencemaran adalah [6]:

Jika  $L_{ij}$  menyatakan konsentrasi parameter kualitas air yang dicantumkan dalam Baku Mutu Air ( $j$ ), dan  $C_i$  menyatakan konsentrasi parameter kualitas air ( $i$ ) yang diperoleh dari hasil analisis perpercontoh air pada suatu lokasi Sungai, maka  $IP_j$  adalah Indeks Pencemaran bagi peruntukan ( $j$ ) yang merupakan fungsi  $C_i/L_{ij}$ . Nilai  $IP_j$  ditentukan dengan cara :

1. Hitung nilai  $C_i/L_{ij}$  untuk setiap parameter pada setiap perpercontoh.

2. Jika  $C_i/L_{ij} < 1,0$ , gunakan nilai  $(C_i/L_{ij})_{\text{hasil pengukuran}}$ ; Jika  $C_i/L_{ij} > 1,0$ , gunakan nilai  $(C_i/L_{ij})_{\text{baru}}$ .

Rumusnya adalah :

$(C_i/L_{ij})_{\text{baru}} = 1,0 + P \log(C_i/L_{ij})_{\text{hasil pengukuran}}$ , dengan

$P$  = suatu konstanta yang biasanya ditentukan nilainya 5.

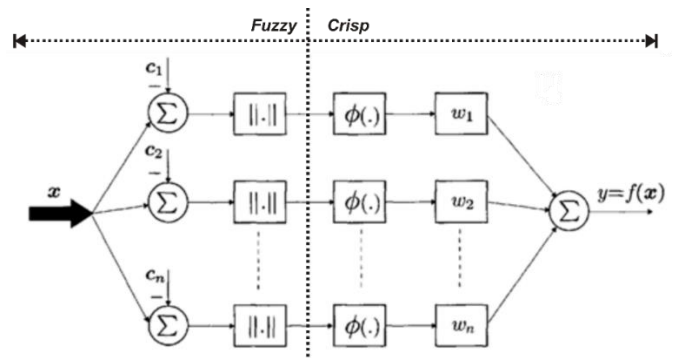
3. Tentukan nilai rata-rata dan nilai maksimum dari keseluruhan  $C_i/L_{ij}$ , yaitu  $(C_i/L_{ij})_R$  dan  $(C_i/L_{ij})_M$ , dengan rumus :

$$IP_j = \sqrt{\frac{(C_i/L_{ij})_M^2 + (C_i/L_{ij})_R^2}{2}}$$

dengan  $M$  = nilai maksimum ;  $R$  = nilai rata-rata

### B. Model Jaringan Syaraf Fuzzy Radial Basis Function

Konsep dasar dari model jaringan syaraf Fuzzy Radial Basis Function (FRBF) ini adalah penerapan aplikasi teori fuzzy ke dalam model dasar jaringan syaraf Radial Basis Function (RBF). Langkah tersebut dimaksudkan untuk dapat mengembangkan kualitas hasil peramalan dari terbatasnya data dan menanggulangi kesalahan paralaks dalam pengukuran. Model jaringan syaraf Fuzzy Radial Basis Function adalah model *unsupervised-and-supervised learning* [7].



Gambar 1. Arsitektur Jaringan Syaraf Fuzzy Radial Basis Function

Proses algoritma *unsupervised learning* dapat dijelaskan sebagai berikut.

Langkah 1. Memfuzzifikasi proses training ke dalam pusat initial fuzzy pada hidden layer pada jaringan syaraf FRBF

$$\tilde{c}_j[\alpha](t) = (\tilde{c}_{1j}[\alpha](t), \dots, \tilde{c}_{ij}[\alpha](t), \dots, \tilde{c}_{nj}[\alpha](t)),$$

$$i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m$$

dengan

$$\tilde{c}_{ij}[\alpha](t) = (\tilde{c}_{ij}[\alpha]^L(t), \dots, \tilde{c}_{ij}[\alpha]^U(t)),$$

dan  $n$  adalah jumlah neuron input serta  $m$  adalah jumlah neuron hidden.

Langkah 2. Memasukkan vektor fuzzy

$$\tilde{X}[\alpha](t) = (\tilde{X}_1[\alpha](t), \dots, \tilde{X}_i[\alpha](t), \dots, \tilde{X}_n[\alpha](t)),$$

$$i = 1, 2, \dots, n$$

dengan

$$\tilde{X}_i[\alpha](t) = (\tilde{X}_i[\alpha]^L(t), \dots, \tilde{X}_i[\alpha]^U(t)),$$

merepresentasikan interval  $\alpha$  - cut fuzzy dari neuron input ke-  $i$  pada waktu  $t$ .

Langkah 3. Menghitung jarak fuzzy antara vektor input dan masing-masing neuron pada hidden layer

$$\tilde{d}_j[\alpha](t) = \left\| \tilde{X}[\alpha](t) \Theta \tilde{c}_j[\alpha](t) \right\|$$

$$= \sum_{i=0}^{n-1} \left( \tilde{X}_i[\alpha](t) \Theta \tilde{c}_{ij}[\alpha](t) \right)^2,$$

$$j = 1, \dots, m$$

dengan  $\tilde{c}_{ij}[\alpha](t)$  adalah interval  $\alpha$  - cut fuzzy antara neuron ke-  $i$  pada input layer dan neuron ke-  $j$  pada hidden layer.

Langkah 4. Menggunakan metode center of gravity untuk defuzzifikasi jarak fuzzy.

$$d_j[\alpha](t) = \frac{\sum_i \tilde{d}_j[\alpha](t) * \mu_{\tilde{A}}(\tilde{d}_j[\alpha](t))}{\sum_i \mu_{\tilde{A}}(\tilde{d}_j[\alpha](t))}, \quad j = 1, \dots, m$$

Langkah 5. Menemukan neuron terpilih  $j^*$  dengan jarak minimum pada hidden layer

$$d_j^*[\alpha](t) = \min_j \{d_j[\alpha](t)\}, \quad j = 1, \dots, m$$

Langkah 6. Memperbarui nilai fuzzy pada neuron terpilih  $j^*$

$$\tilde{c}_{ij^*}[\alpha](t+1) = \tilde{c}_{ij^*}[\alpha](t) \oplus \eta_1(t) (\tilde{X}_{ij^*}[\alpha](t) \Theta \tilde{c}_{ij^*}[\alpha](t))$$

dengan  $\eta_1(t)$  merepresentasikan learning rate pada waktu  $t$ .

Langkah 7. Mengurangi nilai learning rate dan mengulang langkah 2 - 6 hingga jumlah putaran learning mencapai nilai yang telah ditentukan.

$$\eta_1(t+1) = \eta_1(t) \cdot \eta_{rate}(t)$$

dengan  $\eta_{rate}(t)$  adalah reduction rate dari learning rate pada waktu  $t$ .

Selain itu, proses supervised learning dapat diekspresikan sebagai langkah-langkah berikut:

Langkah 1. Menghitung nilai output pada neuron hidden

$$y_j(t) = \exp\left(\frac{-d_j^2(t)}{2\sigma_j^2}\right)$$

dengan  $\sigma_j$  adalah standart deviasi dari neuron hidden ke-  $j$  dan  $d_j$  adalah jarak Euclidean antara vektor input dan pusat ke-  $j$ .

Langkah 2. Menghitung nilai output pada neuron output

$$o_k(t) = \sum_{j=1}^m y_j(t) \times w_{kj}(t)$$

Langkah 3. Menghitung nilai error antara yang diinginkan dan respon sebenarnya.

$$E_k(t) = d_k - o_k(t)$$

Langkah 4. Menyesuaikan bobot connection antara neuron hidden dan neuron output

$$w_{kj}(t+1) = w_{kj}(t) + \eta_2 E_k(t) y_j(t)$$

Langkah 5. Mengulangi Langkah 1 hingga Langkah 4 sampai jumlah perulangan training yang telah didefinisikan atau error yang diperbolehkan dicapai.

### C. Mean Squared Error (MSE)

Secara matematis tepat tidaknya hasil peramalan sangat dipengaruhi oleh besarnya nilai error. Salah satu metode pengukuran error hasil peramalan adalah dengan Mean Squared Error (MSE) [5]. Perhitungan MSE dapat dilakukan dengan persamaan sebagai berikut.

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}$$

dengan  $P_i$  adalah nilai aktual atau target,  $O_i$  adalah nilai output, dan  $n$  adalah banyaknya jumlah data.

## III. PEMBAHASAN

### A. Penetapan Indeks Pencemaran

Penelitian ini diawali dengan pengambilan data pada beberapa instansi terkait untuk mendapatkan nilai beberapa parameter kualitas air secara time series. Data parameter kualitas air secara time series yang diperoleh adalah data nilai beberapa parameter kualitas air pada Januari 2008 hingga Juni 2013 dengan periode bulanan dari Perum Jasa Tirta Malang. Sesuai dengan peruntukannya, menurut SK Gubernur Kepala Daerah Jawa Timur Nomor 413 Tahun 1997, Kali Surabaya yang merupakan salah satu sumber air minum diharapkan memenuhi standar mutu kualitas air baku kelas II. Oleh karena itu, pada penelitian ini nilai  $L_{ij}$  yang digunakan adalah nilai konsentrasi parameter kualitas air yang dicantumkan dalam Baku Mutu Air Kelas II untuk setiap parameter. Dengan menerapkan metode indeks pencemaran pada data nilai beberapa parameter kualitas air tersebut, didapatkan nilai indeks pencemaran untuk masing-masing waktu pengukuran. Perhitungan nilai indeks pencemaran untuk bulan Januari 2008 pada titik pantau Sepanjang adalah:

Tabel 1 Contoh Perhitungan Nilai Indeks Pencemaran

Parameter	$C_i$	$L_{ij}$	$C_i/L_{ij}$	$(C_i/L_{ij})_{baru}$
DO	4,7	4	1,175	1,350
BOD	7,6	3	2,533	3,018
COD	15,8	25	0,632	0,632
Rata-rata				1,667
Maksimal				3,018
$IP_j$				2,438

Descriptive statistics untuk indeks pencemaran untuk Januari 2008 hingga Juni 2013 pada tiap titik pantau dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Descriptive Statistics Indeks Pencemaran Kali Surabaya Segmen Sepanjang – Jagir

Titik Pantau	Mean	StDev	Min	Max
Sepanjang	1,6741	0,6421	0,6836	3,1366
Gunungsari	1,4381	0,5976	0,6579	3,1961
Jagir	1,6476	0,6254	0,6714	3,6174

### B. Training Aplikasi Jaringan Syaraf FRBF dalam Peramalan Indeks Pencemaran

Peramalan indeks pencemaran didahului dengan membagi dua data keseluruhan pada masing – masing titik pantau, yang berjumlah 66 series, ke dalam data *training* dan data *testing*. Untuk menunjukkan akurasi aplikasi dalam peramalan indeks pencemaran, peramalan dilakukan dengan berbagai periode hasil peramalan, yaitu periode 6 bulan, 1 tahun, 1 tahun 6 bulan. Selain itu, penggunaan berbagai learning rate juga dilakukan untuk mengetahui learning rate dan periode hasil peramalan yang memiliki hasil terbaik yaitu dengan nilai MSE terkecil. Pembagian data ke dalam data *training* dan data *testing* untuk setiap periode hasil peramalan terlihat pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3 Pembagian Data Sesuai Periode Hasil Peramalan

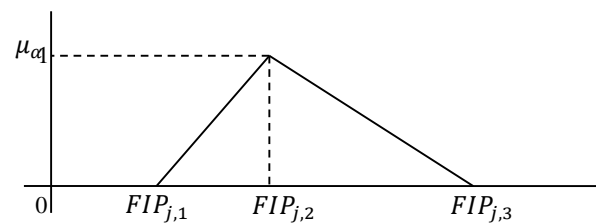
Periode		Training	Testing / Validasi	Peramalan
6 bulan	Data	Jan'08 – Des'12	Jan'13 – Jun'13	Jun'13 – Des'13
	Banyaknya	60 series	6 series	6 series
1 tahun	Data	Jan'08 – Jun'12	Jul'13 – Jun'13	Jul'13 – Jun'14
	Banyaknya	54 series	12 series	12 series
1 tahun 6 bulan	Data	Jan'08 – Des'11	Jan'12 – Jun'13	Jul'13 – Des'14
	Banyaknya	48 series	18 series	18 series

Proses *training* adalah proses pelatihan data *input* untuk mendapatkan nilai bobot dan karakteristik data *input* (Fausset, 1995). Proses *training* dalam jaringan syaraf Fuzzy Radial Basis Function (FRBF) dapat dibagi menjadi dua tahap, yaitu *unsupervised training* dan *supervised training*. Tahap *unsupervised training* mulai dilakukan dengan fuzzifikasi nilai indeks pencemaran pada *hidden layer*, penentuan jarak antara *neuron input* dan *neuron center*, defuzzifikasi jarak pada *hidden layer*, penentuan *neuron centre* terpilih, *update hidden layer* hingga *update learning rate*. Tahap *unsupervised training* tersebut merupakan penerapan *fuzzy self-organizing mapping* dalam jaringan syaraf FRBF.

Langkah pertama dalam algoritma *unsupervised training* pada jaringan syaraf FRBF adalah fuzzifikasi data training sehingga neuron center bersifat fuzzy dalam hidden layer pada FRBF. Dalam penelitian ini, neuron center yang terinisialisasi menjadi bersifat fuzzy disimbolkan  $\tilde{C}$ . Berdasarkan penelitian yang menyimpulkan bahwa himpunan fuzzy adalah metode

yang fleksibel dalam mendapatkan nilai numerik dari variabel ordinal [8], dan dengan dasar pertimbangan adanya kesalahan paralaks dalam pengukuran nilai parameter, fuzzifikasi indeks pencemaran dilakukan dengan memperhatikan bilangan bulat di sekitar nilai indeks pencemaran untuk setiap series.

Representasi fungsi keanggotaan yang digunakan dalam penelitian ini adalah representasi kurva segitiga. Representasi kurva segitiga merupakan bentuk bilangan *fuzzy* yang sederhana karena mampu mencakup persekitaran suatu bilangan *crisp* dengan memperhatikan *lower bound* dan *upper bound* dari bilangan tersebut. Bilangan bulat terbesar yang kurang dari nilai indeks pencemaran  $[IP_j]$  pada waktu tersebut digunakan sebagai *lower bound* untuk setiap nilai indeks pencemaran. Sedangkan bilangan bulat terkecil yang lebih dari nilai indeks pencemaran  $[IP_j]$  pada waktu tersebut digunakan sebagai *upper bound* untuk setiap nilai indeks pencemaran. Dengan memperhatikan *lower bound* ( $FIP_{j,1}$ ) dan *upper bound* ( $FIP_{j,3}$ ) untuk setiap nilai indeks pencemaran ( $FIP_{j,2}$ ) terbentuk bilangan *fuzzy* untuk masing-masing nilai indeks pencemaran. Sedangkan representasi *fuzzy* triangular number untuk setiap indeks pencemaran terlihat pada kurva segitiga dalam Gambar 2.



Gambar 2 Representasi kurva segitiga nilai IP

dengan:

$$FIP_{j,1} = \text{lower bound} = [IP_j]$$

= bilangan bulat terbesar yang kurang dari  $IP_j$

$$FIP_{j,2} = \text{medium} = IP_j = \text{nilai } IP_j \text{ pada series tersebut}$$

$$FIP_{j,3} = \text{upper bound} = [IP_j]$$

= bilangan bulat terkecil yang lebih dari  $IP_j$

Hasil perhitungan indeks pencemaran Kali Surabaya untuk titik pantau Sepanjang, Gunungsari, dan Jagir untuk bulan Januari 2008 hingga Juni 2013 masing – masing memiliki nilai diantara 0 dan 4. Oleh karena itu, dapat ditentukan skala fuzzifikasi berdasarkan representasi fungsi keanggotaan diatas untuk masing – masing indeks pencemaran sebagai berikut.

Tabel 4 Skala Fuzzifikasi Nilai Indeks Pencemaran Kali Surabaya Segmen Sepanjang – Jagir pada Jan'08 – Jun'13

$IP_j$	$FIP_j$		
	$FIP_{j,1}$	$FIP_{j,2}$	$FIP_{j,3}$
$[IP_j] \leq IP_j \leq [IP_j]$	$[IP_j]$	$IP_j$	$[IP_j]$
$0 \leq IP_j \leq 1$	0	$IP_j$	1
$1 \leq IP_j \leq 2$	1	$IP_j$	2
$2 \leq IP_j \leq 3$	2	$IP_j$	3
$3 \leq IP_j \leq 4$	3	$IP_j$	4

Skala fuzzifikasi tersebut digunakan untuk mentransformasi bilangan *crisp* indeks pencemaran Kali Surabaya segmen Sepanjang – Jagir periode Januari 2008 hingga Juni 2013



kedalam bilangan fuzzy. Indeks pencemaran yang telah difuzzifikasi digunakan sebagai center yang telah terinisialisasi yang disimbolkan dengan  $\tilde{C}$ . Selain itu indeks pencemaran yang telah difuzzifikasi tersebut digunakan sebagai vektor fuzzy yang diinputkan ke dalam jaringan syaraf FRBF. Sehingga indeks pencemaran yang digunakan sebagai matriks  $X$  maupun  $C$  yang bernilai sama dan semula berukuran  $length(X) \times 1$  dan  $length(C) \times 1$ , maka bertransformasi menjadi matriks berukuran  $length(X) \times 3$  yang disimbolkan dengan  $\tilde{X}$  dan  $length(C) \times 3$  yang disimbolkan dengan  $\tilde{C}$ .

Bilangan fuzzy untuk setiap nilai indeks pencemaran digunakan sebagai input dalam penentuan jarak antara masing-masing neuron pada input layer dengan masing-masing neuron pada hidden layer. Penentuan jarak tersebut direpresentasikan oleh fuzzy  $\alpha$ -cut interval pada neuron ke- $i$  dari input layer dan neuron ke- $j$  pada hidden layer. Jarak terpendek tersebut kemudian didefuzzifikasi menggunakan metode COG (*Center Of Gravity*). Metode COG pada dasarnya adalah metode pencarian titik berat untuk suatu representasi kurva segitiga untuk bilangan fuzzy. Dari jarak-jarak yang telah didefuzzifikasi tersebut dipilih salah satu jarak dengan nilai minimum sebagai neuron terpilih (*center*) pada *hidden layer* untuk diupdate. Jarak terpilih pada neuron center terpilih tersebut diperbarui dengan menambahkan nilai  $\eta_1(t)$  yang dikalikan dengan nilai jarak minimum tersebut. Nilai *learning rate* yang digunakan untuk mengupdate *hidden layer* terupdate semakin mendekati nol dengan perkalian dengan *reduction rate* hingga mencapai *learning cycles*. Pada implementasi ini, nilai *learning rate* awal yang ditentukan adalah 0,01 sedangkan nilai *reduction rate* yaitu 0,5 dan *learning cycles* hingga 5000.

Nilai *learning rate* yang digunakan untuk mengupdate *hidden layer* terupdate semakin mendekati nol dengan perkalian dengan *reduction rate* hingga mencapai *learning cycles*. Pada implementasi ini, nilai *learning rate* awal yang ditentukan adalah 0,01 sedangkan nilai *reduction rate* yaitu 0,5 dan *learning cycles* hingga 1000. Selanjutnya tahap *supervised training* yang merupakan tahap penentuan *output* dengan fungsi aktivasi pada jaringan syaraf *Radial Basis Function* dilakukan dengan menggunakan jarak terpilih yang telah dilakukan defuzzifikasi dan diupdate untuk menghitung *output* pada neuron *hidden* dan neuron *output*.

### C. Testing Aplikasi Jaringan Syaraf FRBF dalam Peramalan Indeks Pencemaran

Proses *testing* merupakan proses perbandingan data aktual dengan hasil *training* berdasarkan nilai error antar keduanya. Data aktual yang digunakan pada proses *testing* adalah nilai indeks pencemaran pada series yang disediakan sebagai data *testing*. Langkah-langkah tersebut diulang hingga mencapai error minimum yang telah ditentukan yaitu perhitungan nilai error antara data aktual dan hasil dan update bobot *connection*.

#### 1) Output Testing Jaringan Syaraf FRBF dalam Peramalan Nilai Indeks Pencemaran Titik Pantau Sepanjang

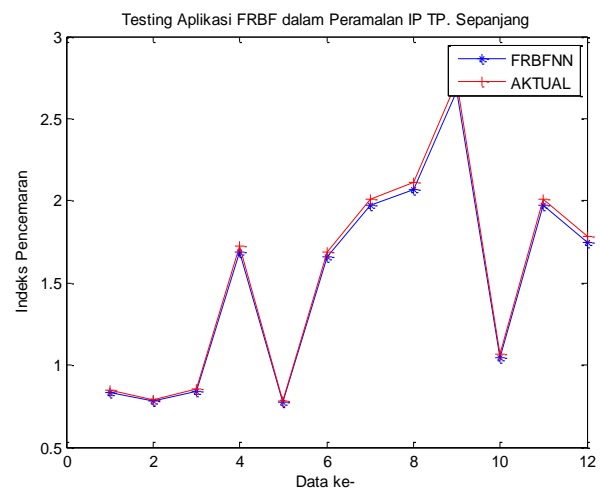
Testing aplikasi jaringan syaraf *Fuzzy Radial Basis Function* dalam peramalan indeks pencemaran titik pantau Sepanjang dilakukan dengan berbagai *learning rate* pada rentang 0,01, 0,03, 0,05, dan 0,07 dan periode data *testing* untuk 6 bulan, 1 tahun, dan 1 tahun 6 bulan. Pemakaian berbagai

*learning rate* dan periode digunakan untuk menentukan *learning rate* dan periode terbaik yang dapat digunakan dalam peramalan indeks pencemaran Kali Surabaya titik pantau Sepanjang. Hasil *testing* yang berupa nilai MSE dan *epoch* dengan berbagai *learning rate* dan periode dalam peramalan indeks pencemaran menggunakan *Fuzzy Radial Basis Function* dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5 Nilai MSE dan Epoch Hasil *Testing* FRBF untuk IP TP.Sepanjang

Sepanjang		Periode Hasil Peramalan (tahun)		
<i>Learning rate</i>		0,5	1	1,5
0,01	MSE	0,2012	0.0318	0.0021
	<i>epoch</i>	5000	5000	5000
0,03	MSE	0,0012	9,9991e-04	9.9956e-04
	<i>epoch</i>	5000	3193	1874
0,05	MSE	9,9860e-04	9,9958e-04	9.9958e-04
	<i>epoch</i>	3116	1938	1135
0,07	MSE	9,9828e-04	9,9558e-04	9.9947e-04
	<i>epoch</i>	2325	1460	864

Berdasarkan Tabel 4.20 diketahui bahwa dengan *learning rate* 0,01, 0,03, 0,05, dan 0,07 dalam proses *testing* untuk periode hasil peramalan 6 bulan, 1 tahun, dan 1 tahun 6 bulan, jaringan syaraf *FRBF* mampu mendekati data aktual dengan nilai MSE kurang dari goal minimum yaitu 0,001 sebelum epoch maksimum sebesar 5000 tercapai, kecuali pada *learning rate* 0,01 dan 0,03 untuk periode 6 bulan. Selain itu, pada Tabel 4.20 juga terlihat bahwa nilai MSE terkecil sebesar 9.558e-05 dengan epoch terpendek sebanyak 1460 didapat dengan *learning rate* sebesar 0,05 pada periode hasil peramalan 1 tahun. Hal ini juga didukung oleh tren time series indeks pencemaran titik pantau Sepanjang yang memiliki tren yang berulang setiap tahunnya, salah satu contohnya adalah kenaikan pada awal tahun hingga pertengahan tahun. Grafik nilai peramalan indeks pencemaran titik pantau Sepanjang dengan *FRBF* dan *learning rate* 0,07 dan periode hasil peramalan 1 tahun dapat dilihat pada Gambar 3. Nilai indeks pencemaran hasil *testing* dan data dapat dilihat pada Tabel 6.



Gambar 3 Output Testing Aplikasi FRBF dalam Peramalan IP TP. Sepanjang

Tabel 6 *Testing* Aplikasi FRBF dalam Peramalan IP Sepanjang

Bulan	Nilai Indeks Pencemaran pada -		Nilai Error
	Data Aktual	Hasil Peramalan <i>FRBF</i>	
Juli'12	0.8465	0.8355	0.0110
Agustus'12	0.7911	0.7843	0.0068
September'12	0.8517	0.8412	0.0105
Oktober'12	1.7217	1.6899	0.0318
November'12	0.7817	0.7718	0.0099
Desember'12	1.6901	1.6585	0.0316
Januari'13	2.0074	1.9706	0.0368
Februari'13	2.1141	2.0714	0.0427
Maret'13	2.7286	2.6706	0.0580
April'13	1.0640	1.0477	0.0164
Mei'13	2.0129	1.9723	0.0405
Juni'13	1.7829	1.7497	0.0332

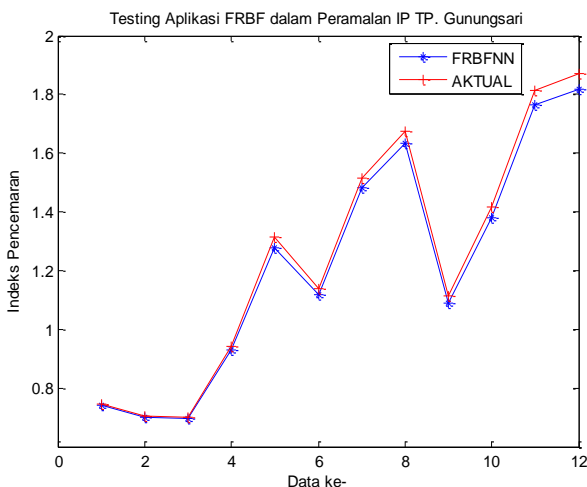
## 2) Output Testing Jaringan Syaraf FRBF dalam Peramalan Nilai Indeks Pencemaran Titik Pantau Gunungsari

Testing aplikasi jaringan syaraf *Fuzzy Radial Basis Function* dalam peramalan indeks pencemaran TP. Gunungsari dilakukan dengan cara yang sama dengan peramalan indeks pencemaran titik pantau Sepanjang dan didapatkan hasil testing yang berupa nilai MSE dan epoch sebagai berikut.

Tabel 7 Nilai MSE dan Epoch Hasil *Testing* FRBF IP Gunungsari

Gunungsari		Periode Hasil Peramalan (tahun)		
<i>Learning rate</i>		0,5	1	1,5
0,01	MSE	0,1415	0.0055	0.0021
	epoch	5000	5000	4175
0,03	MSE	0,0015	9,9936e-04	9.9936e-04
	epoch	5000	2271	1399
0,05	MSE	9,9943e-04	9,9658e-04	9.9676e-04
	epoch	3206	1379	846
0,07	MSE	9,9696e-04	9,9379e-04	9.9510e-04
	epoch	2330	1000	613

Grafik nilai peramalan indeks pencemaran titik pantau Gunungsari dengan *FRBF* dan *learning rate* 0,07 dan periode 1 tahun dapat dilihat pada Gambar 4. Nilai indeks pencemaran hasil *testing* dan data dapat dilihat pada Tabel 8.

Gambar 4 *Output Testing* Aplikasi FRBF dalam Peramalan IP TP. GunungsariTabel 8 *Testing* Aplikasi FRBF dalam Peramalan IP Gunungsari

Bulan	Nilai Indeks Pencemaran pada -		Nilai Error
	Data Aktual	Hasil Peramalan <i>FRBF</i>	
Juli'12	0.7472	0.7427	0.0045
Agustus'12	0.7030	0.6987	0.0043
September'12	0.6995	0.6957	0.0038
Oktober'12	0.9420	0.9282	0.0139
November'12	1.3127	1.2777	0.0351
Desember'12	1.1397	1.1160	0.0237
Januari'13	1.5150	1.4821	0.0329
Februari'13	1.6745	1.6324	0.0420
Maret'13	1.1133	1.0906	0.0226
April'13	1.4161	1.3790	0.0371
Mei'13	1.8140	1.7646	0.0494
Juni'13	1.8711	1.8190	0.0521

Pada tabel 7 terlihat bahwa hasil *testing* menunjukkan model jaringan syaraf *Fuzzy Radial Basis Function* memiliki hasil terbaik dalam meramalkan indeks pencemaran Kali Surabaya titik pantau Gunungsari dengan periode hasil peramalan 1 tahun dan dengan *learning rate* 0,07. Hal tersebut ditunjukkan dengan nilai MSE terkecil sebesar 9,9379e-04 dan nilai error rata-rata sebesar 0,0267 dengan *learning rate* 0,07 dalam periode hasil peramalan 1 tahun. Oleh karena itu, dengan *learning rate* 0,07 dan periode 1 tahun, dapat digunakan untuk peramalan indeks pencemaran satu tahun kedepan.

## 3) Output Testing Jaringan Syaraf FRBF dalam Peramalan Nilai Indeks Pencemaran Titik Pantau Jagir

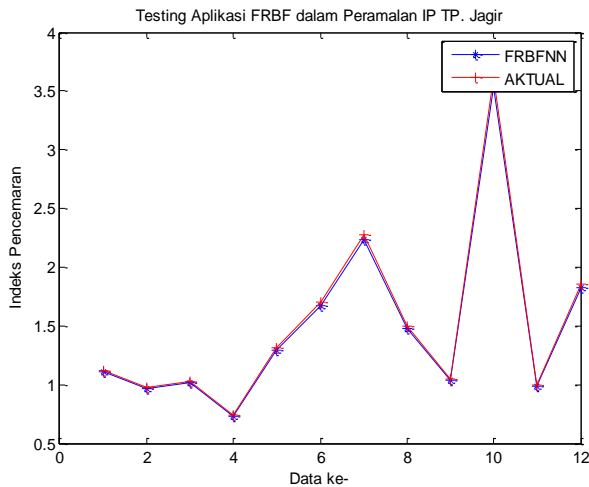
Testing aplikasi jaringan syaraf *Fuzzy Radial Basis Function* dalam peramalan indeks pencemaran TP. Jagir dilakukan dengan cara yang sama dengan peramalan indeks pencemaran titik pantau Sepanjang dan didapatkan hasil testing yang berupa nilai MSE dan epoch pada Tabel 9. Pada tabel 9 terlihat bahwa hasil *testing* menunjukkan model jaringan syaraf *Fuzzy Radial Basis Function* memiliki hasil terbaik dalam meramalkan indeks pencemaran Kali Surabaya titik pantau Jagir dengan periode hasil peramalan 1 tahun dan dengan *learning rate* 0,07.

Tabel 9 Nilai MSE dan Epoch Hasil *Testing* FRBF IP Jagir

Gunungsari		Periode Hasil Peramalan (tahun)		
<i>Learning rate</i>		0,5	1	1,5
0,01	MSE	0,2470	0.0505	0.0010
	epoch	5000	5000	5000
0,03	MSE	0,0020	9,9975e-04	9.9640e-04
	epoch	5000	3572	1678
0,05	MSE	9,9935e-04	9,9798e-04	9.9824e-04
	epoch	3323	2167	1016
0,07	MSE	9,9769e-04	9,9539e-04	9.9850e-04
	epoch	2405	1569	735

Hal tersebut ditunjukkan dengan nilai MSE terkecil sebesar 9,9379e-04 dan nilai error rata-rata sebesar 0,0251 dengan *learning rate* 0,07 dalam periode hasil peramalan 1 tahun. Grafik nilai peramalan indeks pencemaran titik pantau Jagir dengan *FRBF* dan *learning rate* 0,07 dan periode 1 tahun dapat

dilihat pada Gambar 5. Nilai indeks pencemaran hasil *testing* dan data dapat dilihat pada Tabel 10.



Gambar 4 Output Testing Aplikasi FRBF dalam Peramalan IP TP. Jagir

Tabel 10 Testing Aplikasi FRBF dalam Peramalan IP Jagir

Bulan	Nilai Indeks Pencemaran pada -		Nilai Error
	Data Aktual	Hasil Peramalan <i>FRBF</i>	
Juli'12	1.1232	1.1074	0.0158
Agustus'12	0.9779	0.9676	0.0103
September'12	1.0255	1.0122	0.0133
Oktober'12	0.7398	0.7350	0.0048
November'12	1.3165	1.2942	0.0223
Desember'12	1.6999	1.6701	0.0298
Januari'13	2.2805	2.2391	0.0414
Februari'13	1.4974	1.4727	0.0247
Maret'13	1.0507	1.0365	0.0143
April'13	3.6174	3.5384	0.0790
Mei'13	1.0000	0.9862	0.0138
Juni'13	1.8594	1.8270	0.0324

Oleh karena itu, dengan learning rate 0,07 dan periode 1 tahun, dapat digunakan untuk peramalan indeks pencemaran satu tahun kedepan.

#### D. Peramalan Indeks Pencemaran dengan Jaringan Syaraf *FRBF*

Peramalan indeks pencemaran Kali Surabaya segmen Sepanjang – Jagir dilakukan untuk meramalkan indeks pencemaran Kali Surabaya segmen Sepanjang – Jagir pada periode selanjutnya berdasarkan hasil *training* dan *testing* model. Input yang digunakan dalam peramalan adalah gabungan hasil fuzzifikasi indeks pencemaran (*fip*) dengan hasil fuzzifikasi hasil *testing*.

Pada peramalan error yang digunakan adalah error pada proses *testing* dan tidak ditentukan goal yang akan dicapai. Data hasil peramalan digunakan sebagai hasil peramalan indeks pencemaran Kali Surabaya bulan Juli 2013 – Juni 2014 untuk masing – masing titik pantau. Berikut adalah *source code* yang digunakan untuk perhitungan *output* peramalan indeks

pencemaran Kali Surabaya titik pantau Sepanjang, Gunungsari maupun Jagir.

Tabel 11 Source Code Output Peramalan Jaringan Syaraf *FRBF*

```

1  % % step1RBF. menghitung nilai output
    pd neuron hidden
2      bfstdev=sum(std(fip));
3      yccb=(-(Hb.^2)/(2*(bfstdev^2)));
4      yb=exp(yccb);
5
6  % % step2RBF. menghitung nilai output
    pd neuron output
7      rw=xlsread(W1.xlsx','A61:L72');
8      wb=[w;rw];
9      learningrate=input('Learning rate:');
    for epoch=1:500
10         fobsb=yb*wb;
11         dwb=learningrateb*e*yb;
12         wbarub=wb+dwb;
13         wb=wbarub';
14
15  end

```

Source Code diatas berbeda dengan *source code* yang digunakan untuk *testing* program. Perbedaannya adalah pada peramalan tidak dihitung nilai MSE. Nilai bobot yang digunakan merupakan gabungan dari bobot akhir dalam proses *testing* yang berukuran  $54 \times 12$  dan bangkitan data yang berukuran  $12 \times 12$ . Dengan *source code* diatas pada nilai IP Kali Surabaya segmen Sepanjang – Jagir didapatkan hasil sebagai berikut.

#### 1) Output Peramalan Indeks Pencemaran TP. Sepanjang

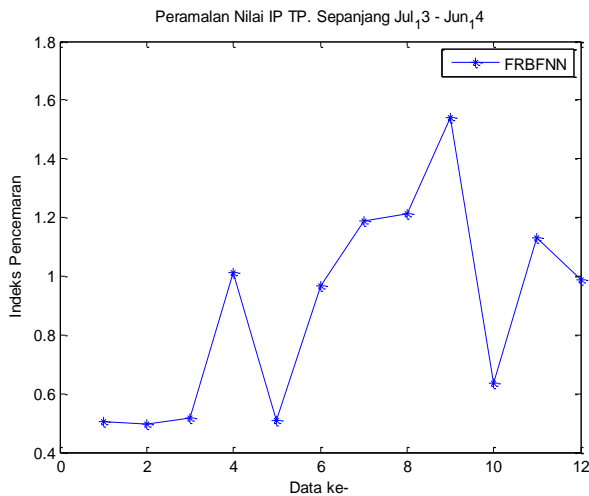
Peramalan nilai indeks pencemaran titik pantau Sepanjang dilakukan dengan nilai *learning rate* dan periode hasil peramalan yang terbaik dalam hasil *testing*. Nilai learning rate dan periode hasil peramalan terbaik dalam hasil *testing* adalah learning rate dan periode yang menghasilkan nilai MSE terkecil pada proses *testing* aplikasi jaringan syaraf Fuzzy Radial Basis Function (*FRBF*) dalam peramalan indeks pencemaran Kali Surabaya titik pantau Sepanjang. Nilai MSE terkecil dalam proses *testing* didapatkan dengan *learning rate* 0,07 dan periode 1 tahun hasil peramalan. Nilai peramalan indeks pencemaran Kali Surabaya titik pantau Sepanjang yang didapatkan dengan jaringan syaraf *FRBF* terlihat pada Tabel 12.

Tabel 12 Hasil Peramalan Indeks Pencemaran Kali Surabaya TP. Sepanjang dengan *FRBF*

Bulan	Indeks Pencemaran pada –
Juli'13	0.5054
Agustus'13	0.4964
September'13	0.5163
Oktober'13	1.0130
November'13	0.5101
Desember'13	0.9652
Januari'14	1.1888
Februari'14	1.2121
Maret'14	1.5382
April'14	0.6347
Mei'14	1.1320
Juni'14	0.9880



Sedangkan grafik hasil peramalan indeks pencemaran Kali Surabaya titik pantau Sepanjang dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5 Grafik Hasil Peramalan Indeks Pencemaran TP. Sepanjang Jul'13 – Jun'14 dengan *FRBF*

Nilai hasil peramalan indeks pencemaran Kali Surabaya titik pantau Sepanjang pada Tabel 12 berada pada rentang 0,4964 hingga 1,5382. Berdasarkan data debit yang didapatkan dari Perum Jasa Tirta yaitu data debit bulan Juli 2013 hingga Desember 2013 yang bernilai 52.33; 40.50; 90.83; 66.30; 43.65; 70.21. Adanya peningkatan debit pada bulan September, Oktober, dan Desember serta adanya peningkatan nilai indeks pencemaran setiap awal tahun yang terlihat dalam plot time series sebelumnya juga diikuti oleh hasil peramalan seperti yang terlihat pada Tabel 12. Oleh karena itu, dapat dikatakan bahwa hasil peramalan sesuai dengan pola hidrolis pada series tersebut. Sedangkan berdasarkan evaluasi indeks pencemaran dalam PP No.82 Tahun 2001, rentang nilai hasil peramalan tersebut digolongkan pada status mutu baik hingga tercemar ringan.

## 2) Output Peramalan Indeks Pencemaran TP. Gunungsari

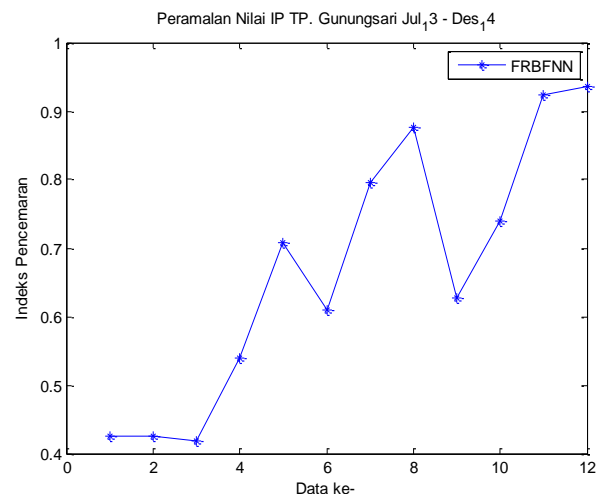
Peramalan nilai indeks pencemaran titik pantau Gunungsari dilakukan dengan tahapan yang sama dalam peramalan indeks pencemaran Kali Surabaya titik pantau Sepanjang. Nilai MSE terkecil dalam proses *testing* aplikasi jaringan syaraf *FRBF* dalam peramalan nilai indeks pencemaran titik pantau Gunungsari didapatkan dengan *learning rate* 0,07 dan periode 1 tahun hasil peramalan. Nilai peramalan indeks pencemaran Kali Surabaya titik pantau Gunungsari yang didapatkan dengan jaringan syaraf *FRBF* dapat dilihat pada Tabel 13. Sedangkan grafik hasil peramalan indeks pencemaran Kali Surabaya titik pantau Gunungsari dapat dilihat pada Gambar 6.

Nilai hasil peramalan indeks pencemaran Kali Surabaya titik pantau Gunungsari pada Tabel 13 berada pada rentang 0,4178 hingga 0,9354. Berdasarkan data debit yang didapatkan dari Perum Jasa Tirta yaitu data debit rata – rata Kali Surabaya bulan Juli 2013 hingga Desember 2013 yang bernilai 52.33; 40.50; 90.83; 66.30; 43.65; 70.21. Adanya peningkatan debit pada bulan September, Oktober, dan Desember tidak diikuti dengan peningkatan yang signifikan pada hasil peramalan seperti yang terlihat pada Tabel 13.

Tabel 13 Hasil Peramalan Indeks Pencemaran Kali Surabaya TP. Gunungsari dengan *FRBF*

Bulan	Indeks Pencemaran pada –
Juli'13	0.4252
Agustus'13	0.4253
September'13	0.4178
Oktober'13	0.5397
November'13	0.7073
Desember'13	0.6100
Januari'14	0.7950
Februari'14	0.8768
Maret'14	0.6271
April'14	0.7401
Mei'14	0.9238
Juni'14	0.9354

Sedangkan adanya peningkatan pada awal tahun dan pertengahan tahun, yaitu bulan Mei dan Juni, yang terlihat pada tren time series pada tahun sebelumnya juga diikuti dengan adanya peningkatan indeks pencemaran pada hasil peramalan yang terlihat pada Tabel 13. Oleh karena itu, dapat dikatakan bahwa hasil peramalan sesuai dengan tren time series pada series tersebut. Sedangkan berdasarkan evaluasi indeks pencemaran dalam PP No.82 Tahun 2001, rentang nilai hasil peramalan tersebut digolongkan pada status mutu baik hingga tercemar ringan. Nilai indeks pencemaran Kali Surabaya titik pantau Gunungsari yang didapatkan dengan jaringan syaraf *FRBF* pada Tabel 13 dalam grafik dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6 Grafik Hasil Peramalan Indeks Pencemaran TP. Gunungsari Jul'13 – Jun'14 dengan *FRBF*

## 3) Output Peramalan Indeks Pencemaran TP. Jagir

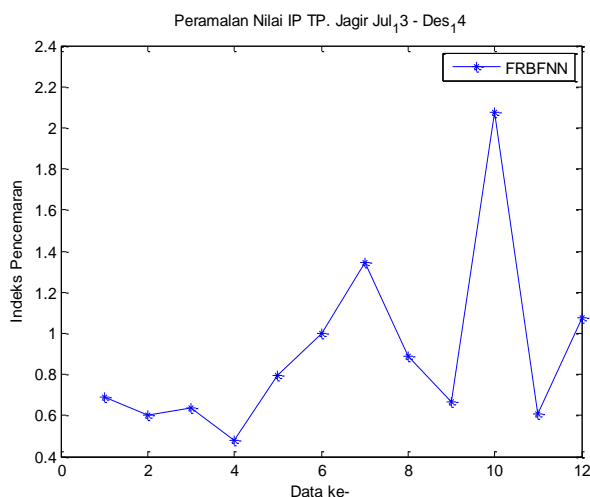
Peramalan nilai indeks pencemaran titik pantau Jagir dilakukan dengan tahapan yang sama dalam peramalan indeks pencemaran Kali Surabaya titik pantau Sepanjang. Nilai MSE terkecil dalam proses *testing* aplikasi jaringan syaraf *FRBF* dalam peramalan nilai indeks pencemaran titik pantau Jagir didapatkan dengan *learning rate* 0,07 dan periode 1 tahun hasil peramalan. Nilai peramalan indeks pencemaran Kali Surabaya titik pantau Jagir yang didapatkan dengan jaringan syaraf *FRBF* dapat dilihat pada Tabel 14. Sedangkan grafik hasil peramalan

indeks pencemaran Kali Surabaya titik pantau Jagir dapat dilihat pada Gambar 7.

Tabel 14 Hasil Peramalan Indeks Pencemaran Kali Surabaya TP. Jagir dengan FRBF

Bulan	Indeks Pencemaran pada –
Juli'13	0.6887
Agustus'13	0.6009
September'13	0.6387
Oktober'13	0.4778
November'13	0.7930
Desember'13	0.9977
Januari'14	1.3418
Februari'14	0.8897
Maret'14	0.6683
April'14	2.0757
Mei'14	0.6072
Juni'14	1.0752

Nilai indeks pencemaran Kali Surabaya titik pantau Jagir yang didapatkan dengan jaringan syaraf *FRBF* pada Tabel 14 dalam grafik dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7 Grafik Hasil Peramalan Indeks Pencemaran TP. Jagir Jul'13 – Jun'14 dengan *FRBF*

Nilai hasil peramalan indeks pencemaran Kali Surabaya titik pantau Jagir pada Tabel 14 berada pada rentang 0,4778 hingga 2,0757. Berdasarkan data debit yang didapatkan dari Perum Jasa Tirta yaitu data debit rata – rata Kali Surabaya bulan Juli 2013 hingga Desember 2013 yang bernilai 52.33; 40.50; 90.83; 66.30; 43.65; 70.21. Adanya peningkatan debit pada bulan Desember juga diikuti dengan peningkatan yang signifikan pada hasil peramalan seperti yang terlihat pada Tabel 14. Sedangkan adanya peningkatan pada awal tahun dan pertengahan tahun, yaitu bulan April dan Juni, yang terlihat pada tren time series pada tahun sebelumnya juga diikuti dengan adanya peningkatan indeks pencemaran pada hasil peramalan yang terlihat pada Tabel 14. Oleh karena itu, dapat dikatakan bahwa hasil peramalan sesuai dengan tren time series dan menyerupai pola hidrolik pada series tersebut. Sedangkan berdasarkan evaluasi indeks pencemaran dalam PP No.82

Tahun 2001, rentang nilai hasil peramalan tersebut digolongkan pada status mutu baik hingga tercemar ringan.

#### IV. KESIMPULAN

Kesimpulan yang didapatkan dari hasil penelitian adalah sebagai berikut.

1. Berdasarkan nilai parameter kualitas air *DO*, *COD*, dan *BOD* dan metode indeks pencemaran ditetapkan nilai indeks pencemaran Kali Surabaya segmen Sepanjang – Jagir pada Januari 2008 hingga Juni 2013 memiliki rentang nilai yaitu 0,6836 hingga 3,1366 (untuk titik pantau Sepanjang), 0,6579 dan 3,1961 (untuk titik pantau Gunungsari), dan 0,6714 dan 3,6174 (untuk titik pantau Jagir).
2. Berdasarkan proses *training* yang dibagi dalam dua tahap yaitu *unsupervised training* dengan *fuzzy self organizing maps* dan *supervised training* dengan *Radial Basis Function*, nilai indeks pencemaran Kali Surabaya segmen Sepanjang – Jagir dapat diidentifikasi dan dimodelkan untuk aplikasi peramalan indeks pencemaran. Berdasarkan proses *testing* dengan *learning rate* pada rentang 0,01 dan 0,07 terlihat kecenderungan bahwa semakin kecil learning rate semakin besar nilai kesalahannya sedangkan untuk learning rate lebih dari 0,07 memiliki nilai kesalahan yang semakin besar sehingga learning rate sebesar 0,07 merupakan learning rate terbaik. Sedangkan proses testing dengan learning rate 0,07 dan berbagai periode hasil peramalan didapatkan nilai MSE terkecil untuk ketiga titik pantau, yaitu MSE sebesar 9.9558e-04 dengan periode 1 tahun untuk indeks pencemaran Kali Surabaya titik pantau Sepanjang, MSE sebesar 9.9379e-04 dengan periode 1 tahun pada titik pantau Gunungsari, dan MSE sebesar 9.9539e-05 dengan periode 1 tahun pada titik pantau Jagir. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa model jaringan syaraf *Fuzzy Radial Basis Function* dapat digunakan untuk identifikasi dan peramalan nilai indeks pencemaran Kali Surabaya segmen Sepanjang-Jagir dengan *learning rate* 0,07 dan dalam periode 1 tahun yang sesuai dengan tren *time series* data tersebut untuk mendapatkan hasil terbaik.
3. Berdasarkan hasil peramalan indeks pencemaran Kali Surabaya segmen Sepanjang – Jagir, yaitu pada rentang 0,4964 hingga 1,5382 (untuk titik pantau Sepanjang), rentang 0,4252 hingga 0,9354 (untuk titik pantau Gunungsari), dan pada rentang 0,4778 hingga 2,0757 (untuk titik pantau Jagir), dapat diramalkan kondisi pencemaran Kali Surabaya segmen Sepanjang-Jagir untuk kurun waktu Juli 2013 – Juni 2014 berada di status tercemar ringan dengan tren *time series* hasil peramalan yang menyerupai tren *time series* data *training*.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Karnaningroem, N., (2007), “Analisa Risiko Bagi Jaminan Kualitas Air Produksi PDAM Ngagel III Surabaya”, *Penelitian Hibah A2 Teknik Lingkungan*, ITS Surabaya.
- [2] Karnaningroem, N., Hadi, W., dan Purnomo, A., (2010), “Upaya Peningkatan Kualitas Air Baku Air Minum bagi PDAM”, *Penelitian Hibah Bersaing*, ITS Surabaya.

- [3] Masduqi, A dan Apriliani E., (2008), “Estimation of Surabaya River Water Quality Using Kalman Filter Algorithm”, *IPTEK, The Journal for Technology and Science*, Vol. 19, No. 3, August 2008.
- [4] Arifin Z. dan Irawan, M.I., (2009), “Adaptive Sensitivity Sensitivity-based Linear Learning Method Algorithms for Data Classification”, *Proceeding of 5<sup>th</sup> International Conference of Mathematics, Statistics and Their Applications*, Bukit Tinggi – West Sumatra Indonesia, Juni 9 -11.
- [5] Bishop, C. M., (1995), *Neural Networks for Pattern Recognition*, Oxford University Press Inc., United States.
- [6] Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 115 Tahun 2003, (2003), Pedoman Penentuan Status Mutu Air, Kementerian Negara Lingkungan Hidup, Jakarta.
- [7] Chi, Sheng-Chai dan Li-Chang Hsu., (2001), “A Fuzzy Radial Basis Function Neural Network for Predicting Multiple Quality Characteristics of Plasma Arc Welding”, *IEEE Trans. Neural Networks*, Taiwan.
- [8] Lalla, M., dan Facchinetti, G., (2004), “Measurement and Fuzzy Scales”, *Atti della XLII Riunione Scientifica*, 351-362.



## DAFTAR LAMPIRAN

	<b>Halaman</b>
Lampiran 1    Data Kualitas Air Kali Surabaya .....	85
Lampiran 2    Perhitungan Indeks Pencemaran.....	101
Lampiran 3 <i>Source Code</i> MATLAB 2013a.....	117
Lampiran 4 <i>Output</i> Program .....	123

